

DIE VERTEILUNG VON n PRODUKTEN
AUF m PRODUKTIONSSTANDORTE
IM RAHMEN
EINER VERBUNDFERTIGUNG

Friedrich Eichiner



Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41554619_0023

DIE VERTEILUNG VON n PRODUKTEN AUF
 m PRODUKTIONSSTÄNDE IM RAHMEN
EINER VERBUNDFERTIGUNG

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung des Grades Doctor oeconomiae publicae
(Dr. oec. publ.)
an der Ludwig-Maximilians-Universität München

vorgelegt von
Friedrich Eichiner

Dezember 1985

Referent:

Prof. Dr. F. Hanssmann

Korreferent:

Prof. Dr. W. Kirsch

Promotionsabschlußberatung:

23. Juli 1986

INHALTSVERZEICHNIS

	Seite
1. Einleitung	1
2. Alternativen der Produktionsverteilung und ihre Bewertung	4
2.1. Die Entscheidungsalternativen	4
2.2. Die zeitliche Dimension des Problems	5
2.3. Die Entscheidungskriterien	6
2.4. Die entscheidungsabhängigen Kosten	9
3. Würdigung unseres Problems in der Literatur	26
3.1. Traditionelle Modelle	26
3.2. Verfahrenorientierte Modelle	28
3.3. Problemorientierte Modelle	33
3.4. Komplexe Modelle	35
4. Entwicklung eines Entscheidungsmodells für zwei Produktionsstandorte	41
4.1. Klassifizierung des Modells	41
4.2. Abbildung der modellrelevanten Systemzusammenhänge	44
4.2.1. Die mehrstufige Teilefertigung	44
4.2.2. Der Zwischenwerksverkehr	50
4.2.3. Externer Lagertransport	55

	Seite
4.2.4. Der Warenumschlag	57
4.2.5. Der Lagerflächenbedarf	60
4.2.6. Der Transportbehälterbedarf	62
4.2.7. Kosten der Kapitalbindung umlaufender Teile	64
4.2.8. Der Personalbedarf	65
4.2.9. Der Investitionsbedarf	67
4.3. Zusammenfassung der Modellteile	69
4.4. Die Lösungsheuristik und ihre Programmierung	73
5. Datenbeschaffung für ein bestimmtes Modell	82
5.1. Probleme der Datenbeschaffung	82
5.2. Parameter zur Beschreibung der Kosten- funktionen	85
5.3. Parameter zur Beschreibung der Kapazitäten und des Kapazitätsbedarfs	94
5.4. Sonstige Parameter	99
6. Darstellung und Diskussion der Modell- ergebnisse	101
6.1. Beschreibung der Alternativen	101
6.2. Auswertung der Tradeoff-Analyse	105
6.3. Sensitivitätsanalyse	110

7.	Zusammenfassung der wichtigsten Ergebnisse	Seite 130
8.	Eingliederung des Modells in den Planungs- prozeß	135
8.1.	Entscheidungsanalyse	135
8.1.1.	Typische Entscheidungsanlässe	135
8.1.2.	Ist-Aufnahme des Entscheidungs- und Problemlösungsprozesses	136
8.2.	Integration des Entscheidungsmodells	144
8.2.1.	Voraussetzungen für eine erfolgreiche Implementierung	144
8.2.2.	Unterstützung der Entscheidungsträger mit entscheidungsrelevanten Modellinformationen	146

Literaturverzeichnis

KAP. 1 EINLEITUNG

Das der Arbeit zugrundeliegende Problem wurde in einem Unternehmen der Automobilindustrie, der Fa. Audi in Ingolstadt, einer Tochtergesellschaft der Volkswagenwerke, untersucht.

Das Produktionsprogramm der Fa. Audi besteht im wesentlichen aus zwei Basistypen A und B der gehobenen und mittleren Kraftfahrzeugklasse, die in Großserien produziert werden. Daneben werden in geringen Stückzahlen auch einige sportliche Fahrzeugvarianten hergestellt.

Das Unternehmen hat einen Produktionsstandort in Ingolstadt und einen in Neckarsulm. Da die Fertigungskapazität des Werkes Neckarsulm zu gering ist, um einen der beiden Basistypen alleine produzieren zu können, wird der Typ A in beiden Werken hergestellt. Die Fertigung ist mehrstufig und in den einzelnen Fertigungsstufen unterschiedlich organisiert.

Einzelteile werden fast ausschließlich nach dem Werkstattfertigungsprinzip (Heinen 1978, S. 296) in Losen hergestellt, dies gilt insbesondere für alle Karosserieteile. Dabei werden Universalmaschinen eingesetzt, mit denen verschiedene Teile von mehreren Modellen produziert werden können.

Die Baugruppen der nachfolgenden Fertigungsstufen werden in kleinen, meist teilespezifischen Funktionsgruppen - z. T. mit Fließbandorganisation - hergestellt.

Der Zusammenbau der Rohkarosse erfolgt auf einer teilautomatisierten Fertigungsstraße. In der letzten Stufe wird das Fahrzeug auf einem Fließband aus den vorgefertigten Produkten zusammengebaut. Die Fertigungsstraßen im Karosserierohbau und die Fließbänder der Endmontage sind jeweils auf einen Basistypen spezialisiert. Gleiches gilt auch für die kleineren Funktionsgruppen in den Zwischenstufen.

Die Fertigungskapazität eines Werkes ist durch die Kapazität der Karosserie-Rohbaustraßen bzw. der Montagebänder und vor allem durch die Kapazität der Lackiererei determiniert. Kapazitätserhöhungen können hier nur durch umfangreiche Investitionen erreicht werden. Eine wesentlich höhere Flexibilität finden wir bei den Produktionsanlagen für Einzelteile und Zwischenprodukte. In diesen Fertigungsbereichen wird für bestimmte Produkte zwischen den Werken Ingolstadt und Neckarsulm eine Verbundfertigung durchgeführt. Sie ist dadurch gekennzeichnet, daß transportfähige Produkte jeweils nur an einem Standort gefertigt und von dort den weiterverarbeitenden Produktionsstätten in den beiden Werken zugeliefert werden. Der Werk-zu-Werk-Transport wird dabei größtenteils durch die Bahn bewerkstelligt. In Engpaßsituationen werden auch LKW-Transporte durchgeführt.

Die Vorteile der Verbundfertigung sind vor allem darin zu sehen, daß Werkzeuge und Maschinen nicht mehrfach angeschafft werden müssen, daß sich die Produktionsstandorte jeweils auf bestimmte Produkte spezialisieren und daß Unterschiede in den Kostenstrukturen der verbundenen Werke berücksichtigt werden können. Dem stehen als Nachteile gegenüber, daß die Verbundfertigung einen Zwischenwerksverkehr bedingt und zusätzliche Belastungen für die Lagerhaltung und den innerbetrieblichen Transport mit sich bringt. Diese Vor- und Nachteile der Verbundfertigung schlagen sich in konkurrierenden Kosten nieder.

Für das Unternehmen ergibt sich damit ein Entscheidungsproblem bei der Festlegung der Produktionsstandorte von transportfähigen Einzelteilen und Baugruppen. Aus der Mehrstufigkeit der Produktion und aus den in vielen Bereichen nur beschränkt verfügbaren Kapazitäten ergeben sich vielseitige Interdependenzbeziehungen, die die Komplexität des Problems erhöhen. Ein besonderer Schwierigkeitsfaktor ist bei dieser Entscheidung die Unsicherheit, die bestimmten Umweltfaktoren, insbesondere der Nachfrageentwicklung, anhaftet.

Ziel unserer Arbeit war es nun, ein Modell zu entwickeln, das dem Management des Unternehmens eine Entscheidungshilfe bei der Festlegung der Produktionsstandorte von Teilen eines Fahrzeugtyps, für die eine Verbundfertigung betrieben werden kann, liefert. Dabei war von einer gegebenen Verteilung der Endprodukte und damit auch aller nicht transportfähiger Einzelteile und Zwischenprodukte auf die beiden Produktionsstandorte Ingolstadt und Neckarsulm auszugehen.

KAP. 2 ALTERNATIVEN DER PRODUKTIONSVERTEILUNG UND IHRE BEWERTUNG

2.1. Die Entscheidungsalternativen

Nachdem wir unser Entscheidungsproblem auf zwei Produktionsstandorte beschränken können, sind in der Praxis für jedes Teil zwei grundsätzliche Verteilungsmöglichkeiten zu unterscheiden:

1. Das Teil wird ausschließlich an einem Standort produziert und – sofern ein Bedarf vorhanden ist – dem jeweils anderen Standort zugeliefert.
2. Das Teil wird an beiden Standorten zur Deckung des standortspezifischen Eigenbedarfes produziert. Die Ersatzteilproduktion wird dabei dem Standort mit den geringeren variablen Kosten zugeschlagen bzw. dem Standort, der die notwendige Kapazität vorhält.

Im 2. Falle findet normalerweise kein Werk-zu-Werk-Transport statt. Wenn jedoch die Kapazität eines Werkes nicht ausreicht, um den standortspezifischen Bedarf zu decken, kann die Fehlmenge am zweiten Standort mitproduziert und von dort zugeliefert werden. Diese Ausnahmekonstellation ist jedoch für die Praxis nur von theoretischer Bedeutung. Reichen Kapazitäten an einem Standort nicht aus oder sind sie gar nicht verfügbar, um eine bestimmte Produktionsverteilung realisieren zu können, so müssen mit der Verteilungsentscheidung auch Investitionsentscheidungen getroffen werden. Dazu zählen wir auch Desinvestitionen sowie die Verlagerung von Kapazitäten, die oftmals mit hohen Kosten verbunden ist.

Wird ein Teil in den Fertigungsverbund einbezogen, so ergibt sich ein weiteres Entscheidungsproblem bei der Wahl des Trans-

portmittels für den Zwischenwerksverkehr. Neben dem LKW-Transport stehen dem Unternehmen für den Schienenstransport drei unterschiedliche Waggontypen zur Verfügung, die sich sowohl in den Frachtkosten als auch vom Ladevolumen her unterscheiden.

Zusammenfassend können wir somit feststellen, daß eine Alternative neben den Entscheidungen über die Standortverteilung der Produktion auch Investitionsentscheidungen und Entscheidungen über die Verteilung von Transportmengen auf Transportmittel beinhaltet.

2.2. Die zeitliche Dimension des Problems

Eine zu Beginn einer Serie getroffene Produktionsverteilung wird in der Regel planmäßig für die gesamte Laufzeit einer Serie festgelegt. Der Planungshorizont würde demnach bei fünf bis sieben Jahren liegen.

Doch der Planungshorizont fällt nicht immer mit dem Wirkungshorizont dieser Standortentscheidungen zusammen. Wie die Vergangenheit zeigt, kann der Wirkungshorizont auch kürzer sein, z. B. dann, wenn aufgrund von Nachfrageveränderungen und davon abhängigen Produktionsprogrammänderungen eine Anpassung der Standortverteilung im Laufe der Zeit notwendig wird. Er kann aber auch weiterreichen als der Planungshorizont. Dies gilt vor allem für Standortentscheidungen, die mit hohen Investitionen für neuinstallierte Fertigungsanlagen verbunden sind und für die eine Verlagerung später nur mit hohen Kosten möglich ist. In diesen Fällen entspricht der Wirkungshorizont häufig der wirtschaftlichen Lebensdauer der Anlage, d. h. der Produktionsstandort bleibt auch für die nachfolgende Serie der gleiche, sofern die Anlage für diese neue Serie eingesetzt werden kann.

Eine entscheidende Rolle spielt in unserem Fall der Datenhorizont, also "derjenige Zeitpunkt, bis zu dem noch Zukunftsdaten

von sinnvoller Genauigkeit beschaffbar sind" (Hanssmann 1978 S. 49). Da die Automobilindustrie gerade in letzter Zeit einen erheblichen produktionstechnischen Wandel erfährt und sich in der Vergangenheit die Umweltparameter für diese Branche immer wieder in unvorhersehbarer Weise verändert haben, ist eine langfristige Betrachtungsweise problematisch. Wir wollen deshalb den Planungshorizont in unserem Falle auf die Laufzeit einer Serie beschränken.

2.3. Die Entscheidungskriterien

Wie wir bereits dargestellt haben, verursachen die Entscheidungsalternativen positive und negative Konsequenzen. Um die einzelnen Alternativen im Hinblick auf ihren Nutzen für das Unternehmen objektiv bewerten zu können, müssen wir operationale Entscheidungskriterien finden.

Die moderne betriebswirtschaftliche Standortlehre benutzt für ähnliche Problemstellungen ein Gewinnkriterium. Der Standort wird als optimal bezeichnet, bei dem die Differenz von standortabhängigen Erträgen und Aufwendungen am größten ist (Jakob 1976). Wöhe (1984) berücksichtigt dabei auch steuerliche Aspekte. Sein Gewinnkriterium ist der Nettogewinn, der nach Abzug der gewinnabhängigen Steuern verbleibt.

Da wir in unserer Problemstellung von einem gegebenen Produktionsprogramm, d. h. von konstanten Produktionsstückzahlen pro Zeiteinheit und Werk ausgehen, werden die Erlöse von unterschiedlichen Entscheidungsalternativen nicht unmittelbar beeinflusst. Für gegebene Erlöse bedeutet aber Gewinnmaximierung Minimierung der Aufwendungen und in unserem Fall, in dem wir nur die Leistungserstellung betrachten, Minimierung der durchschnittlichen entscheidungsabhängigen Kosten pro Jahr.

Das Kostenkriterium alleine wäre jedoch für den Entscheidungsträger nicht ausreichend. Sind für eine Produktionsver-

teilung auch Investitionen notwendig, so schlagen sich diese nicht nur in den Kosten nieder, sie berühren auch die Liquidität des Unternehmens und stoßen auf Budgetrestriktionen. Neben der Kostenersparnis, die durch eine Investition erzielt werden kann, ist in unserem Fall vor allem auch der Investitionsmittelbedarf ein wichtiges Entscheidungskriterium.

Ein weiteres ernstzunehmendes Problem, das von den Handlungsalternativen berührt werden kann, sind Personalveränderungen, die erfahrungsgemäß erheblichen sozialen und politischen Zündstoff mit sich bringen. Das Unternehmen ist deshalb bestrebt, im Rahmen der beschriebenen Alternativen den Bedarf an Arbeit in einem möglichst ausgeglichenen Verhältnis auf die beiden Produktionsstandorte zu verteilen. Der Personalbedarf an beiden Standorten ist deshalb für uns ein weiteres wichtiges Entscheidungskriterium. Obwohl wir gleichzeitig anmerken wollen, daß nach Aussagen der Unternehmensleitung wirtschaftlich notwendige Investitionen, wie die Einführung neuer Technologien, aufgrund des letztgenannten Kriteriums nicht scheitern werden.

Nun könnten wir für den Personalbedarf und den Investitionsmittelbedarf zielorientierte Restriktionen angeben und damit Verteilungsalternativen ausschließen, welche diese Restriktionen nicht einhalten. Da es aber in der Praxis schwierig ist, diese Restriktionen festzulegen und vor allem die Gefahr besteht, daß durch eine solche Vorgehensweise interessante Alternativen von vornherein ausgeschlossen werden, wollen wir den Investitionsmittel- und den Personalbedarf vorerst unbeschränkt als zusätzliche Entscheidungskriterien berücksichtigen.

Wie wir bereits an anderer Stelle festgestellt haben, ist für das Unternehmen die Flexibilität einer Produktionsverteilung gegenüber sich verändernden Umweltkonstellationen ein weiterer wichtiger Gesichtspunkt. Für uns stellt sich damit die Frage, wie die Flexibilität gemessen werden kann. Denkbar wäre, die Flexibilität eines Systems durch die Zahl der Anpassungsmaß-

nahmen in den verschiedenen Umweltkonstellationen zu messen. Wenn $i = 1, \dots, n$ Teile zu verteilen sind, und $j = 1, \dots, m$ Umwelten möglich erscheinen, können wir für jede Verteilung $a = 1, \dots, a^*$ einen Flexibilitätsindex f_a bilden:

$$(2.1) \quad f_a = \frac{m \cdot n - \sum_{i,j} x_{ij}}{m \cdot n}$$

wobei x_{ij} eine binäre Variable ist, die den Wert 1 annimmt, wenn bei Umwelt j eine Anpassungsmaßnahme für Teil i durchgeführt werden muß und ansonsten = 0 ist.

Da wir für die unterschiedlichen Umweltkonstellationen keine Eintrittswahrscheinlichkeiten angeben können, gilt der Index f_a für den verteilungsfreien Fall. Der Flexibilitätsindex hat den Wertebereich $0 \leq f_a \leq 1$ für alle $a = 1, \dots, a^*$. Je größer der Wert f_a für eine Verteilung a ist, umso flexibler ist diese Verteilung gegenüber den verschiedenen Umweltkonstellationen.

Der Index f_a wird aber dem Entscheidungsträger nicht in jedem Falle eine hinreichende Information über die Flexibilität einer Entscheidungsalternative geben, wie die beiden nachfolgenden Beispiele zeigen werden:

Im ersten Fall nehmen wir an, daß eine Verteilung a gefunden wurde, bei der nur ein einziges x_{ij} den Wert 1 annimmt. Allerdings ist die erforderliche Anpassungsmaßnahme sehr kostspielig. Im zweiten Fall nehmen mehrere x_{ij} den Wert 1 an, jedoch sind hier die Anpassungsmaßnahmen mit relativ geringen Kosten durchführbar. Der Flexibilitätsindex f_a wird nun im ersten Fall eine wesentlich höhere Flexibilität anzeigen als im zweiten Fall. Betrachtet man jedoch die Anpassungskosten, so wird man gerade zum gegenteiligen Ergebnis gelangen (Hanssmann (1978) weist auf das Problem eines Flexibilitätsmaßes auf

kostenfreier Grundlage hin).

Da der Entscheidungsträger vor allem an den monetären Konsequenzen einer Anpassungsmaßnahme interessiert sein wird, müssen wir nach einem entsprechenden Kriterium suchen. Die Kosten der in den verschiedenen Umweltkonstellationen notwendigen Anpassungsmaßnahmen scheinen auf den ersten Blick ein passendes Kriterium abzugeben. Jedoch müssen wir auch hier bedenken, daß gerade bei Investitionen mit relativ langer Nutzungsdauer die Anpassungskosten mit einem relativ geringen Betrag im Verhältnis zu den gesamten Anschaffungskosten veranschlagt werden.

Zusammenfassend kommen wir deshalb zu dem Ergebnis, daß bei der Messung der Flexibilität ein einziges Entscheidungskriterium nicht ausreicht. Wir schlagen deshalb vor, mehrere Kriterien bei der Beurteilung der Flexibilität einer Verteilungsalternative heranzuziehen. Neben den Anpassungskosten erscheinen uns der zusätzliche Investitionsmittelbedarf und die Auslastung der vorhandenen Kapazitäten am besten für diesen Zweck geeignet zu sein. Schließlich wollen wir noch in Anlehnung an Hanssmann (1978) darauf aufmerksam machen, daß ein Flexibilitätmaß als ein ergänzendes Entscheidungskriterium gesehen werden sollte ohne dabei andere bewährte Kriterien ersetzen zu wollen.

2.4. Die entscheidungsabhängigen Kosten

Im folgenden wenden wir uns dem Kostenkriterium zu. Unser Ziel ist es, die funktionalen Zusammenhänge zwischen möglichen Produktionsverteilungen und den daraus resultierenden Kosten aufzuzeigen, um sie später im Kapitel 4.2 formulieren zu können.

Wir wollen uns dabei nach dem Identitätsprinzip (Riebl, 1978; vgl. auch Heinen, 1983) orientieren und nur solche Kostenarten

berücksichtigen, die bei der Durchführung der Handlungsalternativen zusätzlich anfallen bzw. bei ihrer Unterlassung tatsächlich entfallen können. Es muß also ein Ursache-Wirkungs-Zusammenhang zwischen Standortentscheidungen und den zurechenbaren Kosten bestehen. Diese Kausalbeziehung ist für alle Kosten, über die bereits entschieden wurde, nicht gegeben. Abschreibungen für vorhandene Einrichtungen dürfen demnach nicht berücksichtigt werden, da sie durch keine Handlungsalternative beeinflussbar sind. Hanssmann (1978) spricht in diesem Zusammenhang von versenkten Kosten. Ihre Berücksichtigung kann zu Fehlentscheidungen führen.

Auch die Aufschlüsselung oder anteilige Zurechnung von echten Gemeinkosten verstößt gegen das Identitätssprinzip und ist ex definitione nicht zulässig, da diese Kosten von mehreren Handlungsalternativen gemeinsam verursacht werden. Der Gemeinkostenblock ist nur dann und zwar in voller Höhe zurechenbar, wenn diese Gruppe von Handlungsalternativen, welche die Gemeinkosten verursacht, realisiert wird. Das Problem der Kostenumlegung tritt damit überhaupt nicht auf.

Im folgenden wollen wir auf die entscheidungsrelevanten Kostenarten näher eingehen.

1. Die Personalkosten

Die Fertigungszeiten werden für jedes Teil im Unternehmen auf der Grundlage von Zeitstudien genau erfaßt. Die Stundensätze für die Fertigungslöhne, Lohnnebenkosten und Fertigungsgemeinkosten stehen uns ebenfalls differenziert nach Kostenstellen zur Verfügung, wobei wir die nicht entscheidungsabhängigen Fertigungsgemeinkosten außer acht lassen.

Wir wollen nun zunächst untersuchen, welchen Verlauf die Fertigungspersonalkosten in Abhängigkeit von unterschiedlichen Ausbringungseinheiten nehmen. Da der Faktor Arbeit nur ganz-

zahlig variiert werden kann, erwarten wir zunächst einen sprunghaften und aufgrund von Größendegressionseffekten bis zur Kapazitätsgrenze konkaven Verlauf dieser Kostenfunktion, die vereinfacht in Abb. 2.1 (Kostenfunktion I) dargestellt wird. Da die Produktion realistischerweise erst ab einer bestimmten Ausbringungsmenge k^0 aufgenommen wird, beginnt die Kostenkurve nicht im Ursprung. Wenn die Kapazitätsgrenze k^0 überschritten wird, müssen Überstundenzuschläge bezahlt werden, so daß sich der Geldfaktor erhöht und die Kostenkurve ansteigt.

Betrachten wir den realen Produktionsprozeß, so zeigt sich, daß solche Kostenverläufe im wesentlichen auf die großen Montagebänder und Rohbaustraßen beschränkt sind. Hier kann durch vermehrten Personaleinsatz die Arbeitsteilung intensiviert und damit der Takt des Bandes in Grenzen verändert werden. Die an diesen Bandern hergestellten Zwischenprodukte sind jedoch nicht mehr transportfähig und deshalb auch nicht Gegenstand unserer Betrachtung.

Bei der Produktion von Einzelteilen, Schweißgruppen und kleineren Zusammenbauten hingegen wird das Fertigungspersonal mehr oder minder flexibel eingesetzt. So kann im Preßwerk grundsätzlich jeder Werker an jeder Maschine arbeiten. Die Fertigungszeit für ein Teil wird vom Arbeitstakt der Maschinen bestimmt. Da in diesem Produktionsbereich mit der fertigungstechnisch höchstmöglichen Intensität gearbeitet wird, ist der Arbeitstakt der Maschinen und damit auch die Fertigungszeit nicht veränderbar. Damit können wir hier von konstanten Fertigungspersonalkosten pro Teil ausgehen. Nur für den Fall, daß Sonderschichten eingeführt werden, erhöhen sich die Stückkosten aufgrund der Überstundenzuschläge.

Einen ähnlichen Sachverhalt können wir bei der Fertigung von Schweißgruppen und Zusammenbauten feststellen. Auch bei diesen kleineren Funktionsgruppen wird der Arbeitstakt nicht verändert. Sinkt die Ausbringungsmenge, so werden die Arbeitskräfte

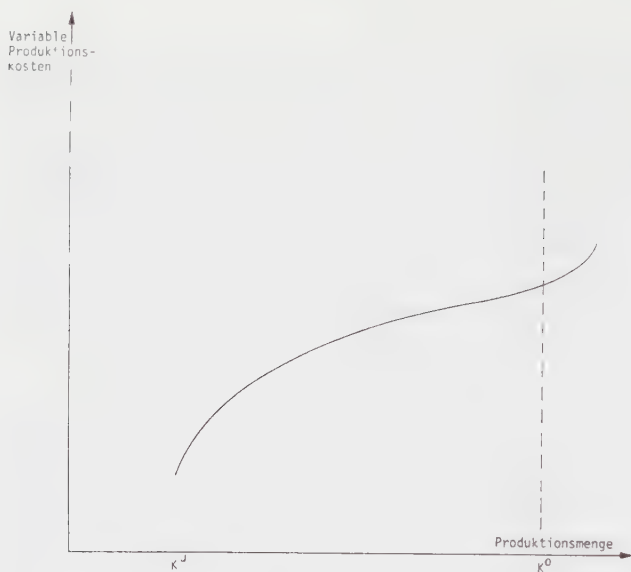


Abb. 2.1 Kostenfunktion I

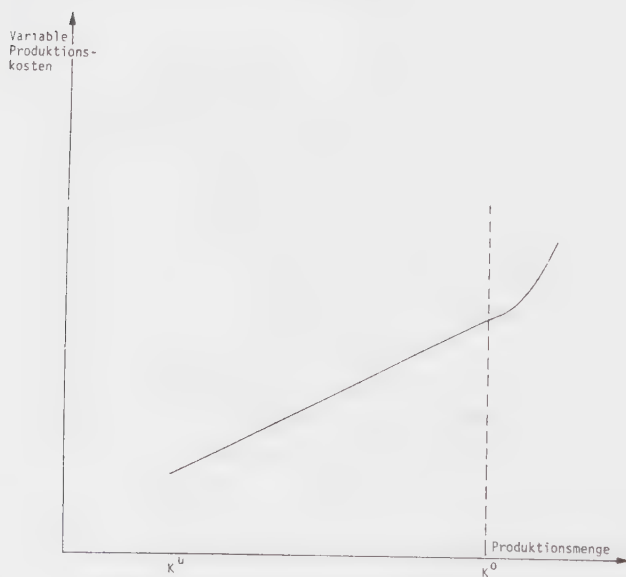


Abb. 2.2 Kostenfunktion II

vermehrt bei der Produktion anderer Teile eingesetzt. Wird aufgrund einer Nachfrageerhöhung die Kapazitätsgrenze überschritten, reagiert das Unternehmen zunächst mit der Einführung von Sonderschichten. Die Folge ist eine Erhöhung der Stückkosten um die Überstundenzuschläge. Erst eine nachhaltige Nachfrageerhöhung wird Erweiterungsinvestitionen und Neueinstellungen bewirken. Für das von uns betrachtete Teilespektrum können wir demnach bis hin zu den Kapazitätsgrenzen von einem relativ linearen Verlauf der einzelnen Fertigungspersonalkostenfunktionen ausgehen (vgl. Abbildung 2.2, Kostenfunktion II).

An dieser Stelle wollen wir auf das Problem der Kostenremanenz hinweisen, das gerade bei Personalkosten häufig gegeben ist. Wenn wir mit unserem Modell Einsparungen bei den Personalkosten errechnen, so treten diese Einsparungen nur dann auf, wenn entweder entsprechend den Modellergebnissen Personal abgebaut wird oder das eingesparte Personal in anderen Unternehmensbereichen einen dort bestehenden zusätzlichen Personalbedarf abdeckt, der andernfalls über den Arbeitsmarkt befriedigt werden müßte. Wenn keine der beiden Möglichkeiten realisiert werden kann, muß das Kostenkriterium entsprechend korrigiert werden, um Fehlentscheidungen zu vermeiden. Dies ist insbesondere im Hinblick auf die Tatsache zu beachten, daß sich die Personalkosten entscheidend auf die Bewertung der Alternativen auswirken, da für die beiden Audi-Werke unterschiedliche Lohntarife gelten.

Schließlich sei noch darauf hingewiesen, daß unsere Handlungsalternativen auch Personalveränderung außerhalb des Produktionsbereichs, z. B. in Planungs- und Kontrollstellen bewirken können. Damit werden fixe Kosten abgebaut oder entstehen zusätzlich, die wir bei der Bewertung der Alternativen berücksichtigen müssen.

2. Betriebskosten maschineller Anlagen

Hier müssen wir zwischen der Einzelteilproduktion im Preßwerk sowie der Fertigung von Schweißgruppen und Zusammenbauten unterscheiden. Bei den Produktionspressen in Ingolstadt und Neckarsulm sind durchaus Unterschiede in den variablen Kosten festzustellen. Sie sind zum einen auf technische Eigenschaften zurückzuführen (z.B. unterschiedliche Hubzahlen pro Zeiteinheit), zum anderen hängen sie mit dem Alter und dem damit in Zusammenhang stehenden Reparaturkostenanfall zusammen. Wenn wir die im Unternehmen ausgewiesenen Kostensätze auf ihre Entscheidungsrelevanz hin untersuchen, stellen wir fest, daß sie in erheblichem Maße versenkte Gemeinkostenanteile enthalten. Dazu zählen:

- Abschreibungen
- Steuern und Versicherungen
- kalkulatorische Zinsen für vorhandene Maschinen und Räume
- Raumkosten.

Die ausgewiesenen Kostensätze müssen um diese Kostenbestandteile bereinigt werden. Der entscheidungsabhängige Teil der Kosten für maschinelle Anlagen ist auf die beschäftigungsvariablen Maschinenbetriebskosten beschränkt. Im wesentlichen zählen wir dazu:

- Energiekosten für Strom, Gas, Wasser und Druckluft, Schmiermittelkosten
- Reparaturkosten.

In Anlehnung an unsere Ausführungen zu den Fertigungspersonalkosten wollen wir auch bei den variablen Maschinenkosten im

Preßwerk von einem linearen Kostenverlauf ausgehen.

Im Gegensatz zur maschinenintensiven Einzelteileproduktion fallen die Maschinenkosten im Rohbau und in der Montage kaum ins Gewicht. Ein Blick in die Daten kann dies verdeutlichen. Der wesentliche Kostenfaktor sind die Energiekosten. Für die ganze Rohkarosse werden im Rohbau ca. 12 kwh an Schweißenergie benötigt. Vergleichen wir die dafür anfallenden Kosten in Ingolstadt und Neckarsulm, so ergibt sich ein Kostenunterschied von ca. 0,03 DM je Fahrzeug. Wir können damit für diesen Fertigungsbereich die variablen Maschinenkosten vernachlässigen.

3. Rüstkosten und Ausschuß

Während man bei der Fertigung der Baugruppen - besonders im Karosserierohbau - spezielle Vorrichtungen und Maschinen einsetzt, werden die Karosserieeinzelteile im Preßwerk auf Universalmaschinen produziert. Für jedes Teil müssen die Produktionspressen mit einem speziellen Formungswerkzeugsatz umgerüstet werden. Die dabei anfallenden Kosten sind entscheidungsrelevant, da sie zum einen doppelt anfallen, wenn ein Preßteil an beiden Standorten produziert wird und zum anderen auch standortabhängige Kostenunterschiede möglich sind.

Die Rüstkosten sind zum wesentlichen Bestandteil Personalkosten. Hinzu kommen noch die Betriebskosten für Kran- und Staplerfahrzeuge, die zum Transport der Formungswerkzeuge eingesetzt werden. Die Rüstzeit hängt von der Anzahl der umzurüstenden Pressen und von der technischen Ausstattung dieser Pressen ab. Bei Großpreßteilen dauert der Rüstvorgang mehrere Stunden. Dabei werden bis zu 20 Arbeitskräfte eingesetzt. Im einzelnen werden vier Rüstvorgänge unterschieden:

- a) das Bereitstellen der Werkzeuge an den Produktionspressen (Vorrüsten)

- b) der Aus- und Einbau der Werkzeuge und die technische Einstellung der Maschinen (Hauptrüstern)
- c) das Austauschen einzelner Werkzeuge, wenn von einem Teil mehrere Varianten produziert werden (Variantenrüsten)
- d) den Transport der Werkzeuge zu ihren Lagerplätzen (Nachrüstern).

Während die älteren Funktionspressen von Hand bestückt werden, ist bei den neueren Pressenstraßen die Teilezu- und-abfuhr mechanisiert. Bei jedem Umrüsten muß auch das Fördersystem neu eingestellt werden. Auf diese Weise entstehen Anlaufkosten, die wir ebenfalls zu den Rüstkosten zählen.

Das Unternehmen setzt bei den Rüstkosten auch fixe Maschinenkosten an, die wir wiederum außer Betracht lassen, da sie für uns entscheidungsunabhängig sind. Gleichwohl zahlen wir zu den Rüstkosten auch den Ausschuß, der gerade in der Anlaufphase, bis die Maschinen exakt eingestellt sind, entsteht.

4. Transportkosten

Hier unterscheiden wir die Kosten für den innerbetrieblichen Transport, also dem Transport zwischen den Fertigungsstätten, den Umschlagsplätzen und den Lagern sowie den Werk-zu-Werk-Transport.

a) Die innerbetrieblichen Transportkosten

Der innerbetriebliche Transport ist in beiden Werken ähnlich organisiert. Die im Einsatz befindlichen Zugmaschinen und Gabelstapler sind bestimmten Werksbereichen zugeordnet. Dabei transportieren sie die Teile aller Fahrzeugtypen, die

in diesem Werksbereich gefertigt werden. Eine verursachungsgerechte Zurechnung der Kosten des innerbetrieblichen Transportes auf ein bestimmtes Teil ist ohne eine mehr oder weniger willkürliche Schlüsselung nicht möglich. Entscheidungsabhängig sind für uns die Kosten des innerbetrieblichen Transportes dann, wenn die Handlungsalternativen den zusätzlichen Einsatz von Fahrzeugen und Personal notwendig machen bzw. deren Freisetzung bewirkt. Sofern die benötigten Fahrzeuge und Maschinen im Fuhrpark zur Verfügung stehen, sind nur deren Betriebskosten entscheidungsabhängig. Bei Abwägung der Größenordnung des möglichen Kostenanfalls sind jedoch die Kostenunterschiede in den beiden Werken vernachlässigbar gering.

Während sich am Standort Neckarsulm alle Läger auf dem Werksgelände befinden, wird in Ingolstadt aus Platzmangel ein externes Lager für Preßteile und teilweise auch für Schweißgruppen betrieben. Diese Teile werden im Werk Ingolstadt auf Lastkraftwagen verladen und von Spediteuren zu diesem externen Lager transportiert. Von dort werden die Preßteile den weiterverarbeitenden Produktionsstätten in Ingolstadt und Neckarsulm je nach Bedarf zugeführt.

Auch Teile, die in Neckarsulm produziert und in Ingolstadt weiterverarbeitet werden, müssen in diesem externen Lager zwischengelagert werden.

Je nachdem, an welchem Standort ein Teil gefertigt und weiterverarbeitet wird, ergeben sich in Ingolstadt unterschiedliche Belastungen für den Transport zwischen dem Werk und diesem externen Lager. Die daraus resultierenden Kosten sind entscheidungsabhängig und müssen berücksichtigt werden.

b) Der zwischenbetriebliche Transport

Teile, die nur jeweils an einem Standort produziert werden, müssen bei Bedarf dem jeweils anderen Standort zugeliefert werden. Der Werk-zu-Werk-Transport wird derzeit hauptsächlich per Bahn durchgeführt. Dabei stehen dem Unternehmen Waggons mit unterschiedlichen Laderäumen zur Verfügung. Neben dem bundesbahneigenen Standardwagon vom Typ Hbis werden auch ein AUDI-eigener Privat-Wagon und der von einer Fremdfirma angemietete Trans-Wagon eingesetzt. Die letzten beiden Waggontypen haben größere Ladevolumina und werden zu günstigeren Frachtsätzen abgerechnet. Sie stehen derzeit aber nur in begrenzter Zahl zur Verfügung. Für den Privatwagon trägt Audi allerdings alle Wartungs- und Reparaturkosten selbst.

Für den Fall, daß die Bahnverladestationen überlastet sind bzw. auch bei zeitlichen Engpässen, werden auch Teile per LKW zum jeweiligen Bedarfsort gefahren. Der Transport wird dabei von Speditionsfirmen durchgeführt.

Im Zwischenwerksverkehr können wir demnach zwischen vier verschiedenen Transportmitteln wählen. Für die Zuordnung von Transportmengen zu Transportmitteln ergibt sich ein Entscheidungsproblem, das wir mit dem Ziel der Kostenminimierung lösen wollen.

Für die Kostenkalkulation werfen wir einen Blick in die Tariftabellen von Bahn und LKW-Versand. Dort sind die Kosten in Abhängigkeit von der Entfernung und vom Ladegewicht angegeben. Wir stellen dabei fest, daß die Frachtsätze innerhalb bestimmter Gewichtsklassen konstant sind und daß die Kosten pro Gewichtseinheit umso kleiner sind, je größer das Sendungsgewicht ist. Es kann deshalb günstig sein, freiwillig ein höheres Sendungsgewicht abzurechnen als die Fracht tatsächlich hat, um dadurch in Genuß des billigeren Frachtsatzes der nachsthöheren Gewichtsklasse zu kommen. Weiterhin müssen wir berücksichtigen, daß die Bundesbahn

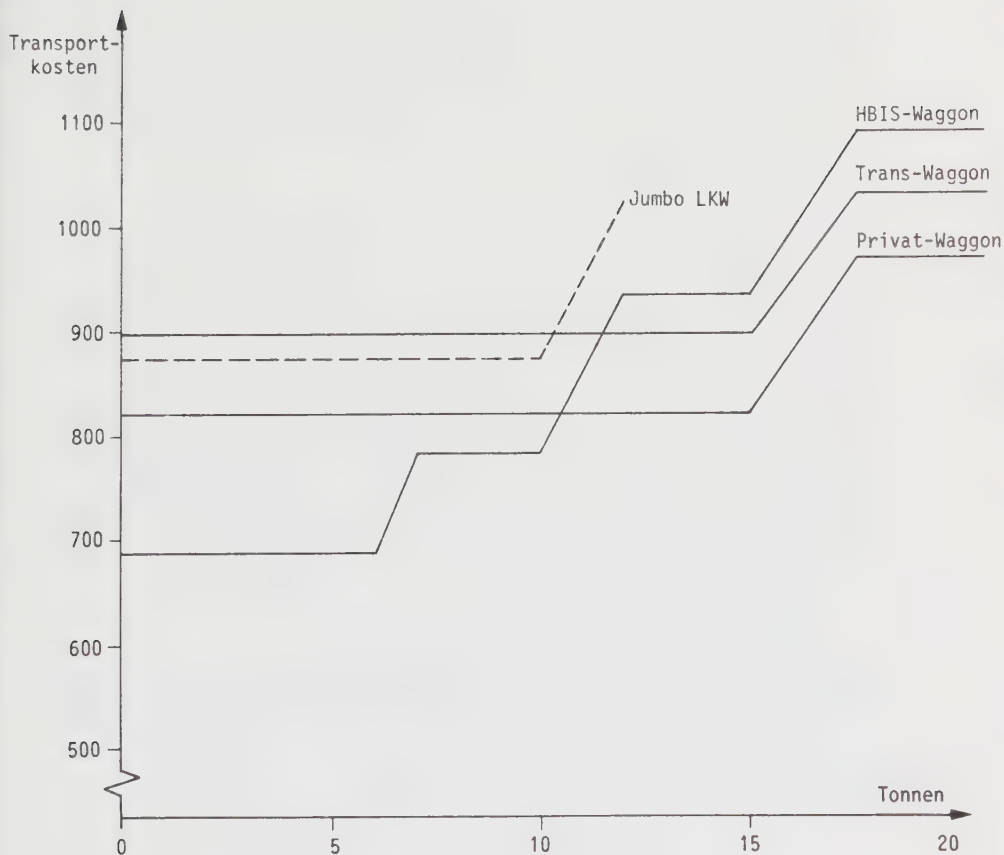


Abb. 2.3: Transportkosten in Abhängigkeit vom Ladegewicht

und auch die Spediteure bestimmte Mindestsendungsgewichte verlangen, die in jedem Fall zu bezahlen sind.

In der Abbildung 2.3 sind die Transportkosten für alle vier Transportmittel, in Abhängigkeit vom Sendungsgewicht angegeben. Dabei wurden die Frachtkosten für den Privat-Waggon um die durchschnittlichen Wartungs- und Reparaturkosten erhöht und den Frachtsätzen des Trans-Waggons die anteiligen Mietkosten zugeschlagen.

Nach Aussage der Frachtenkontrolle werden für über 90 % der Transportmittel nur die Mindestsendungsgewichte bezahlt. Der Grund liegt darin, daß heute vor allem für Karosserieteile eine Verbundfertigung betrieben wird. Diese Teile sind relativ leicht, beanspruchen aber trotzdem viel Laderaum, da sie schwierig zu verpacken sind. Hohe Gewichte erreichen nur Kleinteile, mit entsprechend großen Packlosen. Hier kann aber auch der Bedarf mit wenigen Behältern gedeckt werden. Bei der Beladung der Transportmittel werden vorwiegend Mischladungen gebildet. Durch die Kombination von leichten und schweren Behältern werden die Mindestsendungsgewichte so gut wie möglich ausgenutzt.

Offensichtlich ist das Gewicht eines Teiles keine geeignete Maßgröße für die Kostenverursachung. Bei dem dargestellten Verlauf der Transportkostenfunktionen ist vielmehr der Laderaumbedarf die ausschlaggebende Kosteneinflußgröße.

5. Materialbeschaffungskosten

Das Beschaffungspotential einer Betriebswirtschaft wird in der Standorttheorie als ein wichtiger Standortfaktor angesehen. Neben den Materialien werden dabei auch andere Beschaffungsgüter, wie z. B. Kredite und staatliche Leistungen genannt, auf die wir aber hier nicht näher eingehen wollen.

Die Materialkosten sind für unser Problem von Bedeutung, wenn die beiden Produktionsstandorte Materialien zu unterschiedlichen Preisen einkaufen. Von wenigen Ausnahmen abgesehen, ist dies jedoch generell nicht der Fall. Der Materialeinkauf wird von Ingolstadt aus für beide Audi-Werke disponiert. Die Einkaufspreise verstehen sich "frei Haus" und werden für beide Werke grundsätzlich gleich vereinbart.

Damit sind die Materialkosten an sich nicht entscheidungsrelevant. Gleichwohl müssen wir sie erfassen, um die Kapitalbindungskosten des Teileumlaufes berechnen zu können.

6. Investitionskosten

Wie wir bereits in Kapitel 1 erläutert haben, sind die fixen Kosten von bereits vorhandenen Kapazitäten für unser Problem nicht entscheidungsrelevant, da über sie bereits in früheren Perioden entschieden worden ist und sie durch unsere Handlungsalternativen nicht mehr beeinflussbar sind.

Im Gegensatz dazu ergeben sich entscheidungsabhängige fixe Kosten, wenn eine Handlungsalternative die Erweiterung oder den Ersatz von Kapazitäten verlangt und damit Investitionen notwendig macht. Im einzelnen sind dabei folgende Kapazitätsarten zu berücksichtigen:

- a. Fertigungskapazitäten
- b. Lagerkapazitäten
- c. Umschlagskapazitäten
- d. Transportmittelkapazitäten
- e. Transportbehälterkapazitäten

Für einen Kostenvergleich auf Jahresbasis können wir die Investitionskosten CI aus den jährlichen Betriebskosten B (z. B. Löhne, Energie und Instandhaltungskosten) und den Kosten des Kapitaldienstes berechnen. Letztere enthalten Abschreibungen,

aus Quotient aus den Anschaffungskosten mit Anschaffungsnebenkosten A und der wirtschaftlichen Nutzungsdauer n, sowie Zinsen auf das eingesetzte Kapital. Wenn wir von einem kontinuierlichen Nutzungsverzehr, also von einer linearen Abschreibung ausgehen, ist im Durchschnitt die Hälfte der Anschaffungskosten gebunden und entsprechend mit dem Zinssatz r zu verzinsen. Dabei ist zu berücksichtigen, daß sich die Anschaffungskosten durch den Verkauf oder die Verschrottung von alten Anlagen vermindern lassen. Wenn wir den Verkaufs- oder Verschrottungserlös mit E definieren, können wir die Investitionskosten allgemein nach Gleichung 2.2. berechnen.

$$(2.2) \quad CI = B + \frac{(A-E)}{n} + \frac{(A-E)}{2} \cdot r$$

Die Betriebskosten B lassen sich, falls erforderlich, noch weiter differenzieren, z. B. bei Fertigungskapazitäten in Maschinenbetriebskosten und Fertigungspersonalkosten.

Verlagerungskosten und Kosten, die bei der Anpassung einer bestehenden Anlage für ein neues Teil anfallen, zählen wir ebenfalls zu den Investitionskosten.

Gleiches gilt auch für Werkzeugkosten. Zu den Vorteilen einer Verbundfertigung zählt, daß Doppelausstattungen vermieden werden können. Dies gilt insbesondere auch für die teureren Formungswerkzeuge, die zur Herstellung von Karosserieteilen in die Hochdruckpressen eingebaut werden. Wenn ein solches Teil an beiden Standorten produziert wird, muß ein zweiter Werkzeugsatz angeschafft oder hergestellt werden. Die Kosten des zweiten Satzes sind dabei in der Regel niedriger als die des ersten, da die Entwicklungskosten nur einmal anfallen. Strenggenommen sind nur die Kosten für den zweiten Werkzeugsatz entscheidungsabhängig, denn der erste Satz muß ja in jedem Fall angeschafft werden, um überhaupt produzieren zu

können. Sind jedoch standortabhängige Unterschiede in den Entwicklungs- und Herstellungskosten festzustellen, so sind die Kosten beider Werkzeugsätze entscheidungsabhängig.

7. Kapitalbindungskosten

Zinskosten für das gebundene Kapital wollen wir nicht nur für Investitionen veranschlagen, sondern auch für die Teilebindung in den Lägern, im Werksumlauf und im Zwischenwerksverkehr. Da sich die Teilebindung mit den Handlungsalternativen verändert, sind diese Kosten entscheidungsabhängig. Jedoch müssen wir hier darauf achten, daß wir nicht Zinsen auf versenkte Kosten berechnen. Die im Unternehmen abrufbaren Herstellungskosten sind daher für unsere Zwecke als Kalkulationsgrundlage ungeeignet, da sie in erheblichem Maße Gemeinkostenanteile enthalten. Dies gilt insbesondere für die Fertigungsgemeinkosten. In den anlagenintensiven Kostenstellen (z. B. Preßwerk) enthalten die Fertigungsgemeinkostenraten hohe Abschreibungsanteile, so daß sie oftmals ein Vielfaches der ausgabenwirksamen Fertigungspersonalkosten betragen. In einer Kostenstelle war z.B. die Fertigungsgemeinkostenrate um 1146 % höher als der Fertigungspersonalkostensatz. Der Unterschied zwischen dem Vollkosten- und dem Teilkostensatz würde sich in entsprechender Höhe auch auf die Kapitalbindungskosten übertragen. Die für unsere Problemstellung relevanten Herstellungskosten können aber nur die ausgabenwirksamen variablen Herstellungskosten sein, also im wesentlichen die Fertigungspersonalkosten, die variablen Maschinenkosten und die Materialkosten.

8. Sonstige Kosten

a) Steuern

Die folgenden Überlegungen beschränken sich auf die in unserem Zusammenhang wichtigsten Steuerarten, die Gewerbe-

steuern.

Die Gewerbesteuerbelastung eines Unternehmens ist abhängig von der Lohnsumme, dem Gewerbeertrag und dem Gewerbekapital. Sofern unsere Handlungsalternativen diese Faktoren beeinflussen können, ist eine Veränderung in der Steuerbelastung möglich. Unabhängig davon kann sich das Gewerbesteueraufkommen auch allein durch die Umverteilung des Faktors Arbeit ändern, da die Gemeinden die für die Gewerbesteuer maßgeblichen Hebesätze innerhalb bestimmter Grenzen selbst bestimmen können (§§ 16, 23-27, 29 GewStG).

Bei der Gewerbekapital- und Gewerbeertragssteuer wird für den Gewerbebetrieb ein einheitlicher Steuermeßbetrag bestimmt, der auf die Gemeinden, in denen die Werke liegen, aufgeteilt wird. Das Aufteilungsverhältnis wird bei Fertigungsbetrieben nach den Lohnsummenanteilen jedes Werkes bestimmt. Der auf die berechtigten Gemeinden entfallende Steuerbetrag ergibt sich durch Multiplikation des auf die Gemeinde entfallenden Teils des Steuermeßbetrages mit dem von der Gemeinde selbst festgesetzten Hebesatz.

Zur Bestimmung der Lohnsummensteuer werden die Bruttolöhne jeder Betriebsstätte aufsummiert. Multipliziert man diese Summe mit einer Steuermeßzahl, so erhält man den Steuermeßbetrag, auf den dann der Lohnsummensteuer-Hebesatz der Gemeinde angewandt wird (vgl. dazu Wöhe, 1978).

Aufgrund der Organschaft mit dem VW-Konzern werden die Audi-Werke mit den VW-Werken bei der Veranlagung zur Gewerbesteuer zusammengefaßt. Der VW-Konzern beschäftigte Ende 1984 115.818 Personen im Inland, die Firma Audi insgesamt 35.403, davon 11.547 in Neckarsulm (Geschäftsbericht 1984). Gegenüber diesen Zahlen sind die aus unserer Problemstellung sich möglicherweise ergebenden Personalveränderungen verschwindend gering. Da sich auch die Hebesätze von Ingolstadt und Neckarsulm derzeit nicht wesentlich unterscheiden, wol-

len wir die Lohnsummensteuer hier vernachlässigen. Auch die Gewerbebeertrags- und die Gewerkekapiialsteuer wollen wir aus ähnlichen Überlegungen ausklammern.

Falls der Steueraspekt in konkreten Fällen entscheidungsrelevant wird, besteht die Möglichkeit, ihn in das Modell einzubringen. Für eine ähnliche Problemstellung hat Fischer (1971) eine Formulierung gefunden. Er stellt dabei den Gewerbebeertrag als die Differenz zwischen einer Konstanten und den im Modell verrechneten entscheidungsabhängigen Kosten dar.

Änderungen des Gewerkekapiitals infolge von Investitionen oder Desinvestitionen lassen sich als Funktion der Abschreibungen, der Finanzierungsform und des Einheitswertes des Betriebsvermögens darstellen.

b) Sonstige Fixkosten

Eine Veränderung der Produktionsverteilung kann personelle und organisatorische Konsequenzen auch in nicht unmittelbar am Fertigungsprozeß beteiligten Unternehmensbereichen zur Folge haben. Wird einem Produktionsstandort ein neues Teilespektrum zugewiesen, so können sich daraus zusätzliche Kosten in der Verwaltung, in den Planungs- und Kontrollbereichen oder auch in der Lagerhaltung und im Transportwesen ergeben. Im Gegenzug können am anderen Produktionsstandort durch eine Verlagerungsentscheidung diese Kosten u. U. abgebaut werden. Damit der Entscheidungsträger die Möglichkeit hat, auch diese Kosten in sein Kalkül mit einzubeziehen, wollen wir sie im Modell berücksichtigen.

3.1. Traditionelle Modelle

Das zu untersuchende Problem können wir in der Literatur in den Bereich der einzelwirtschaftlichen Standortentscheidungen einordnen. "Die Beschäftigung mit den Maßnahmen der Geschäftsleitung, die sich auf das Schaffen, Ändern oder Bewahren von Standorten beziehen, sind Gegenstand der Standorttheorie" (Liebmann, 1971, S. 13). In der Standorttheorie wurde schon früh versucht, Aspekte von Standortentscheidungen zu erforschen und in Modellen abzubilden. Stellvertretend für die traditionelle Standorttheorie seien vor allem die Arbeiten von Weber (1909) und Predöhl (1925) genannt, deren Ansätze später von Isard (1956) und Moses (1958) weiterentwickelt wurden.

Bei den traditionellen Standortmodellen stehen vor allem beschaffungswirtschaftliche Probleme in Verbindung mit der räumlichen Lage der Unternehmung im Mittelpunkt der Betrachtungen. So ist beispielsweise in der Standortanalyse von Weber der optimale Standort für einen neu zu errichtenden Betrieb der Punkt, der die mit den Kosten gewichteten Entfernungen zu den Material-, Arbeitskräfte- und Kundenstandorten ein Minimum werden läßt. Das wirtschaftliche Problem wird somit auf ein geometrisches Problem zurückgeführt, das analytisch gelöst werden kann.

Probleme des Absatzes werden bei diesen traditionellen Modellen nur am Rande behandelt. Eine Würdigung des absatzwirtschaftlichen Aspektes der Standortwahl finden wir vor allem in der mikroökonomischen Literatur. In den hier behandelten Ansätzen, die im Zusammenhang mit der Annahme einer räumlichen Ausdehnung des Marktes entwickelt wurden, geht es in erster Linie um die Untersuchung von Konkurrenzbeziehungen, vor allem

im Hinblick auf preispolitische Maßnahmen und deren Wirkung auf das räumliche Marktgleichgewicht (Hotelling 1929; E. v. Böventer, 1962; Jacob, 1967).

Weder die Ansätze der traditionellen industriellen Standortlehre noch die mikrotheoretischen Modelle sind für unser Problem relevant. Das liegt zum einen an den vereinfachenden Annahmen, die diesen Modellen zugrunde liegen (kontinuierliche Standortvariation, Einproduktbetrieb, vollkommene Information), zum anderen liegt es aber auch daran, daß die Modelle vorwiegend auf betriebliche Teilbereiche mit einer relativ kleinen Zahl von Einflußgrößen beschränkt sind. Standortentscheidungen tangieren aber in der Regel mehrere oder alle betrieblichen Teilbereiche, so daß sich vielfältige und komplexe Interdependenzbeziehungen ergeben können, welche die Standortwahl beeinflussen.

Abgesehen von Heuristiken, die Standortalternativen durch die Aufstellung und relativ subjektive Bewertung eines Standortfaktorenkatalogs (z.B. mit einem Punkteschema) analysieren, haben die Modelle der Standorttheorie für uns keine praktische Bedeutung. Jedoch liefert uns die Theorie eine relativ vollständige verbale Beschreibung jener Faktoren, die die Standortwahl bestimmen. In der wirtschaftswissenschaftlichen Standortbestimmungslehre werden dabei Kostenbetrachtungen vorrangig behandelt und Kostengruppierungen durchgeführt (Behrens, 1961; Bloech, 1970).

Die Theorie liefert uns damit die Grundlage für die Analyse praktischer Entscheidungsprobleme bei der Standortwahl und für die Entwicklung von quantitativen Modellen, wobei sie uns gleichzeitig als wertvolle Ergänzung auch jene Faktoren nennt, die nicht oder nur schwer quantifizierbar sind, aber bei Standortentscheidungen eine Rolle spielen können.

3.2. Verfahrenorientierte Modelle

Wenn wir auf unser im Kapitel 1 charakterisiertes Problem zurückkommen, stellen wir fest, daß wir es nicht mit einer Standortwahl im eigentlichen Sinne, d.h. mit der Errichtung eines neuen Betriebes an einem neu zu bestimmenden geographischen Punkt zu tun haben, sondern vielmehr mit der Frage, wie mehrere Produkte auf vorgegebene Produktionsstandorte optimal verteilt werden können.

In der Literatur kommen dieser Problemstellung noch Modelle am nächsten, die sich mit der Wahl von Produktionsstätten bei einer gegebenen Zahl von räumlich festgelegten Standorten beschäftigen. Viele dieser Modelle wurden als lineares Programmierungsproblem formuliert und sind auf bekannte Lösungsmethoden des Operations Research zugeschnitten. Sie werden von Sasieni, Yaspan und Friedman (1967) in Ernennungsprobleme (Assignment Problems), Transport-Probleme und Simplex-Probleme eingeteilt.

Ansätze die die Form des Ernennungsproblems aufweisen, finden sich in großer Zahl bei der Behandlung des "Facility Location Problems" (Gavett, Plyter, 1966; Hillier, Connors, 1966; Vollmann, Nugent, Zartler, 1968;), das sich bei der innerbetrieblichen Standortwahl häufig stellt. Dabei geht es um die Zuordnung einer gegebenen Zahl von Betrieben auf ebensoviele Standorte, so daß minimale Transportkosten entstehen. Da hier alle Betriebe zu allen anderen Betrieben Transportverbindungen unterhalten, sind die Kosten eines Betriebes nicht nur abhängig vom eigenen Standort, sondern auch von den Standorten der anderen Betriebe.

Das Problem kann exakt gelöst werden. Die vereinfachenden Annahmen, daß alle Kosten außer die zwischenbetrieblichen Transportkosten konstant sind und daß die Einheitstransportkosten und die Mengen, die zwischen je zwei Betrieben transportiert werden, auch festgelegt sind, hat Francis (1964) teil-

weise aufgelöst und das Verfahren insofern erweitert, daß auch die Produktionskosten und die Transportkosten für Produkte und Faktoren von Ort zu Ort und von Betrieb zu Betrieb variieren können.

Für unser Problem sind Modelle, die auf das Zuordnungsproblem zugeschnitten sind, nicht anwendbar. Zum einen ist die Zahl der möglichen Standorte in unserem Fall wesentlich kleiner als die Zahl der Teile, die zugordnet werden sollen, zum anderen können bei der Zuordnung von Teilen auf Produktionsstätten auch fixe Kosten anfallen, die sich hier in der Regel nicht berücksichtigen lassen. Eine Ausnahme bildet ein Branch-Bound-Verfahren, das bei Francis und White (1974, S. 357) dargestellt wird. Wie jedoch schon die Autoren anmerken, ist dieses Verfahren auf relativ kleine Probleme beschränkt.

In einer mehrstufigen Produktion mit räumlich verbundenen Produktionsstätten oder Betrieben werden durch den Transport von Zwischenprodukten, welche an den Betrieb der nachfolgenden Produktionsstufe zu liefern sind, die Kosten der vorgelagerten Produktionsstufen mit denen der nachgelagerten Stufen verknüpft. Für ähnliche Verknüpfungsprobleme wurden Modelle entwickelt, die dem Ansatz der dynamischen Programmierung entsprechen. Zur Lösung des Problems wird ein Netzwerk gebildet, in dem die möglichen Standorte der verschiedenen Produktionsstufen als Knoten erscheinen und nacheinander angeordnet sind. Die Knoten werden mit den standortabhängigen Kosten bewertet sowie die Verbindung zwischen den Knoten mit den Transportkosten. Der optimalen Standortverteilung entspricht der Weg geringster Kosten vom Ausgangspunkt bis zum Endpunkt des Netzwerkes (eine weitergehende Darstellung wird bei Bloech, 1970, S. 165 ff. gegeben).

Obwohl sich bei diesem dynamischen Ansatz auch von der Standortwahl abhängige fixe Kosten berücksichtigen lassen, sind auch hier der Anwendung für unser Problem zu enge Grenzen gesetzt. So darf auf jeder Produktionsstufe nur ein Betrieb

gewählt werden, und es muß von Stufe zu Stufe von einer gerichteten Verbindung ausgegangen werden, Rückflüsse sind nicht gestattet. Die Ansätze sind damit auf den Einproduktbetrieb zugeschnitten. Die komplexen Interdependenzbeziehungen, die sich wie in unserem Fall bei einem Mehrproduktbetrieb ergeben, sind hier schwer darstellbar.

Das mehrstufige Modell von Masch

Standortmodelle, die sich mit dem Problem einer mehrstufigen und räumlich verbundenen Produktion, insbesondere mit den zwischenbetrieblichen Transportbeziehungen beschäftigen, werden in der osteuropäischen Literatur ausführlich diskutiert (Masch, 1962; Zirndina, 1965;). "Die Analyse dieser Literaturquellen zeigt, daß die praktische Anwendung dieser Standortmodelle auf der Basis der Minimierung von Produktions- und Transportkosten einen beachtlichen Stand erreicht hat" (Liebmann, 1971, S. 68).

Da in der sozialistischen Wirtschaft Nachfrage und Preise nicht vom Markt bestimmt, sondern geplant werden, bleiben Erlöseffekte in der Regel außer Ansatz. Die Überlegungen konzentrieren sich vielmehr auf die optimale Gestaltung des Produktionsprozesses bei gegebenem Output und damit auf die gleiche Problemstellung, die unserem einzelwirtschaftlichen Problem zugrunde liegt.

Das von Masch entwickelte und von Zirndina erweiterte Modell, auf das wir im folgenden näher eingehen wollen, wurde für einen ganzen Industriezweig konzipiert. Der Ansatz kann jedoch ohne Einschränkungen auch einzelwirtschaftlich interpretiert werden. Unsere Ausführungen halten sich dabei an die Darstellung des Modells bei Grundmann et al. (1968).

Masch geht in seinem Modell von einem räumlich mehrstufigen Produktionsprozess aus, d.h. daß Produkte, die in einer be-

stimmten Produktionsstätte hergestellt werden, in Produktionsstätten an anderen Standorten weiterverarbeitet werden. Das gesamte Produktions- und Absatzsystem umfaßt eine gegebene Anzahl von Stufen, wobei sich auf jeder Stufe an einer bestimmten Anzahl von Standorten Produktionsstätten befinden. Um das Reihenfolgeproblem in den Griff zu bekommen, werden noch zusätzlich Folgestufen unterschieden. Auf der letzten Stufe sind nur Nachfrager.

Das Modell geht davon aus, daß Erzeugnisse, die auf einer Stufe hergestellt werden, nur an Produktionsstätten bzw. Nachfrager der unmittelbar darauffolgenden Stufe geliefert werden. Um auch den Mehrproduktfall berücksichtigen zu können, wird angenommen, daß die verschiedenen Produkte durch Äquivalenzziffern in ein homogenes Einheitsprodukt transformiert werden können. In der Zielfunktion stehen die mengenproportionalen Produktions- und Transportkosten, die es zu minimieren gilt. Auch das Problem eines nicht linearen Verlaufes der variablen Produktionskosten wird hier aufgegriffen. Durch die Methode der streckenweisen Linearisierung der Kostenfunktion (Gould, 1959) können solche Kostenverläufe in das Modell aufgenommen werden, indem eine entsprechende Anzahl von Teilkapazitäten mit unterschiedlichen Kostenkoeffizienten definiert wird. Masch führt sein Modell auf das allgemeine Transportproblem zurück, das sich mit den allgemein bekannten Algorithmen exakt lösen läßt.

Um in diesem voraussetzungsgemäß rein linearen Modell auch fixe Kosten im Zusammenhang mit Erweiterungsinvestitionen berücksichtigen zu können, wendet er die "Methode der schrittweisen Neubewertung der Kosten" (Grundmann, S. 105) an, die auf Gould (1959) zurückgeht. Die Lösung erfolgt mit Hilfe einer Serie von Transportmodellen. Die fixen Kosten werden dabei proportionalisiert und die Kostenkoeffizienten entsprechend der effektiven Auslastung der Kapazitäten solange angepaßt, bis sie in der Optimallösung der durch das Modell ermittelten Auslastung entsprechen.

Masch und Zirndina haben das Grundmodell später noch erweitert, so daß es auch möglich wurde

- a. Halbfabrikate einer beliebigen Stufe unmittelbar dem Endverbraucher zuzuführen, ohne noch die Folgestufen des Gesamtsystems durchlaufen zu müssen,
- b. Produktionsstufen zu überspringen und
- c. die Produkte einer Stufe in einer der vorangehenden Stufen einzusetzen.

Während das Modell für den Einproduktbetrieb eine Lösung für das Problem mehrstufiger Produktions- und Transportbeziehungen bietet, ist die Behandlung des Mehrproduktfalles unbefriedigend. Mit der Einführung von Äquivalenzziffern wird der Mehrproduktfall quasi auf den Einproduktfall transformiert, was wiederum eine notwendige Voraussetzung für die Anwendung des allgemeinen Transportproblems ist. Eine solche Vereinfachung setzt voraus, daß zwischen den Produkten, die auf den einzelnen Stufen hergestellt werden, eindeutige Mengenbeziehungen bestehen und daß für sie Kostensätze existieren, die verursachungsgerecht auf eine Einheitssorte bezogen werden können. Diese Bedingung ist nur in Ausnahmefällen erfüllt (bei Grundmann wird als Beispiel für die Praxis, die Erzeugung von Braunkohle-, Brikett-, Dampf- und elektrischer Energie angeführt). Wir können deshalb auch eine Übertragung des Modells von Masch auf unser Problem ausschließen.

Den zuletzt behandelten Modellen ist allen gemeinsam, daß sie im Hinblick auf die Anwendung eines bestimmten Verfahrens entwickelt wurden, mit dem das Modell exakt gelöst werden kann. Um die Verfahren einsetzen zu können, müssen jedoch vereinfachende Annahmen getroffen werden, welche die Anwendung dieser Modelle für komplexe Standortprobleme, wie wir sie in der Praxis vorfinden, erheblich einschränken.

3.3. Problemorientierte Modelle

Rein lineare Modelle sind bei Standortproblemen in der Praxis nur in Ausnahmefällen anwendbar (vgl. Folie and Tiffin, 1976). In der Regel sind mit der Entscheidung für einen Produktionsstandort bzw. für die Errichtung und Erweiterung einer Produktionsstätte fixe Kosten (z.B. aus Investitionen) verbunden. In den Modellen läßt sich dieser Sachverhalt durch die Einführung von binären Variablen berücksichtigen. Diesen Variablen wird der Wert 1 zugewiesen – und damit werden die fixen Kosten in die Bewertung aufgenommen – wenn ein Standort bzw. eine Produktionsstätte gewählt wird, andernfalls nehmen sie den Wert 0 an (zur weiteren Bedeutung binärer Variablen in diesem Zusammenhang vgl. Brauer, 1969). Auch bei bestimmten Investitionsmodellen, in denen der multiple Einsatz technisch gleichartiger Aggregate möglich ist (vgl. Jacob 1976), dürfen die Variablen nur ganzzahlige Werte einnehmen (die allerdings auch größer als 1 sein können), da in der Realität Kapazitäten nur ganzzahlig variiert werden können.

In der Literatur zur Unternehmensforschung sind gemischt-ganzzahlige Modelle, aufgrund der mit der Ganzzahligkeit verbundenen Lösungsproblematik, Gegenstand intensiver Forschungsbemühungen. So findet sich eine Reihe von Beiträgen, die sich diesbezüglich mit dem "Plant Location Problem" bzw. mit dem verwandten "Warehouse Location Problem" beschäftigen (Efroymson and Ray, 1966; Spielberg, 1969; Davis and Ray 1969). Da exakte Verfahren nach wie vor nur bei relativ kleinen Problemen angewandt werden können, wurden heuristische Modelle entwickelt, um auch größere Probleme lösen zu können (Manne, 1964; Sa, 1969). Hervorzuheben, vor allem im Hinblick auf die praktische Anwendung, ist dabei das Modell, das von Kuehn und Hamburger (1965) zur Optimierung eines mehrstufigen Distributionssystems entwickelt wurde (vgl. dazu auch Feldman, Lehrer and Ray, 1966).

Modelle, die sich auch mit dem Mehrproduktbetrieb auseinander-

setzen, finden wir bei der Behandlung des "Production Allocation and Distribution Problems".

Das Modell von Mairs, Wakefield, Johnson und Spielberg (1978) behandelt ein mehrstufiges Produktions- und Distributionssystem, in dem zwischen den Produktionsstätten und dem Endverbraucher unterschiedliche Lagerhaustypen zwischengeschaltet sind. Die Produkte werden hier zu Produktklassen zusammengefaßt und die Kostensätze darauf bezogen. Insbesondere auf die Ermittlung entscheidungsrelevanter Kostenkoeffizienten für Transport- und Produktionskosten gehen die Autoren in ihrem Beitrag näher ein. Schließlich werden zwei lineare Programme im Hinblick auf ihre Lösungseffektivität verglichen.

Auch der Ansatz von White (1969) greift den Mehrproduktfall auf. Neben den variablen Produktions- und Transportkosten berücksichtigt er in seinem Modell auch eine durch Mengenrabatte konkave Materialkostenfunktion, die in diesem Modell stückweise linearisiert wird. Daneben nimmt White auch Strafkosten für nicht in Anspruch genommene Produktionskapazitäten und Opportunitätskosten für entgangene Gewinne aufgrund unbefriedigter Nachfrage in seinen Ansatz auf. Auch White geht auf die Lösungsproblematik ein und wendet ein Branch-Bound-Verfahren an.

Als Zwischenergebnis können wir festhalten, daß die zuletzt behandelten Ansätze im wesentlichen nur Produktions- und Distributionsprobleme, meist in stark vereinfachter Form, erfassen und vorrangig zur Demonstration von bestimmten Lösungsverfahren für gemischt-ganzzahlige Probleme entwickelt wurden. Zwar werden mehrstufige Transportbeziehungen zwischen Produktionsstätten, Lagern und Nachfragern in diesen Modellen behandelt, auf mehrstufige mit mehreren Standorten verbundene Produktionsprozesse im Mehrproduktbetrieb wird jedoch nicht eingegangen.

3.4. Komplexe Modelle

Die Forderung nach mehr Praxisnähe bei Standortmodellen verlangt vor allem eine möglichst vollständige Erfassung der entscheidungsrelevanten Einflußgrößen. Während in den bisher behandelten Modellen vorwiegend Aktionsparameter aus dem Beschaffungs-, Produktions- und Absatzbereich erfaßt wurden, werden in neueren Modellansätzen auch kapitalwirtschaftliche Handlungsaspekte berücksichtigt. Die Standortwahl wird damit auch als ein Investitions- und Finanzierungsproblem gesehen.

Das statische Modell von Jacob

Eine Folge komplexer einperiodischer Industriestandortmodelle auf der Grundlage durchschnittlicher Erlöse und Kosten hat Jacob (1976) entwickelt. Er behandelt den Mehrproduktfall und berücksichtigt dabei auch unterschiedliche Produktionsverfahren. In seinem Modell wird jedes Verfahren durch ein bestimmtes Aggregat oder durch eine Aggregategruppe repräsentiert. Darüberhinaus sieht Jacob in seinem Modell auch Erweiterungsinvestitionen vor. Entsprechend definiert er für jedes Verfahren eine ganzzahlige Entscheidungsvariable, welche die Anzahl der Aggregate angibt, die an jedem Standort eingesetzt werden sollen. Die Kapazität der Aggregate wird dabei in Zeiteinheiten gemessen.

Die Zielfunktion ist in diesem Modell eine Gewinnfunktion, es wird also davon ausgegangen, daß das Unternehmen nach Gewinnmaximierung strebt.

Auf der Aufwandsseite berücksichtigt Jacob die variablen Kosten der Produktion, Materialkosten, fixe Kosten in der Produktion und Abschreibungen für neue Anlagen sowie Transportkosten der Endprodukte zu den Absatzmärkten.

Auf der Ertragsseite werden den Erlösen aus dem Verkauf der Erzeugnisse auch Erlöse aus Finanzinvestitionen hinzugerech-

net, die sich ergeben, wenn das Budget nicht durch Ausgaben in betrieblichen Bereichen völlig ausgeschöpft wird und somit ein Restbetrag in Finanzinvestitionen angelegt werden kann.

Durch die Formulierung einer Finanzierungsbedingung soll die Einhaltung der Budgetrestriktionen sichergestellt werden. In diesen Restriktionen erscheinen neben den Anschaffungskosten der Aggregate auch der Kapitalbedarf für variable und fixe Kosten der Produktion und für Materialkosten. Der Kapitalbedarf wird dabei mit Hilfe von sogenannten Finanzierungsfaktoren berechnet, die den Anteil der ausgabewirksamen Kosten angeben.

Mit der Formulierung von Finanzierungsbedingungen erweitert Jacob sein Modell um den finanzwirtschaftlichen Bereich, so daß die finanziellen Möglichkeiten des Unternehmens bei Standortentscheidungen mit einbezogen werden können. Die Ermittlung der Finanzierungsfaktoren dürfte allerdings in der Praxis auf Schwierigkeiten stoßen (beispielsweise bei selbsterzeugter Energie). Erweiterungsinvestitionen werden in dem Modell von Jacob durch den multiplen Einsatz technisch gleichartiger Anlagen in Ansatz gebracht. Diese Formulierung wird in der Praxis nicht in jedem Falle haltbar sein, denn in der Regel werden je nach Kapazitätsbedarf ganz konkrete, meist technisch unterschiedliche Investitionsprojekte realisiert werden, wobei auch Rationalisierungseffekte aufgrund des technischen Fortschrittes Berücksichtigung finden müssen. Jacob weist in seinem Beitrag daraufhin, daß in seinem Modell auch nach mehreren Produktionsstufen und unterschiedlichen Intensitäten der Produktionsanlagen differenziert werden kann. Die bis zu sechsfach indizierten Variablen deuten jedoch dabei bereits an, welche lösungstechnischen Probleme eine so weitgehende Differenzierung des Modells mit sich bringt.

Für unsere Problemstellung fehlen dem Modell von Jacob vor allem die zwischenbetrieblichen Beziehungen, die sich im Falle einer mehrstufigen Verbundfertigung im Mehrproduktbetrieb ergeben.

Dynamische Modelle

Das Modell von Jacob geht von zeitlich konstanten Umweltbedingungen aus. Bei einer mehrperiodischen Betrachtung in einer ständig sich verändernden Umwelt kann jedoch ein statisches Modell lediglich zur Ermittlung eines guten Endzustandes nützlich sein.

In der Literatur finden wir zu dieser Problemstellung Modellansätze, mit deren Hilfe sich ein guter Weg zu diesem Endzustand finden läßt. Zur Lösung dieser Modelle werden Entscheidungsbaumverfahren herangezogen. Statische Modelle können dabei bestenfalls Bausteine dynamischer Modelle sein (Fischer, 1971). Da das Eintreten bestimmter Umweltzustände im Zeitablauf meist von großer Unsicherheit gekennzeichnet ist, versuchen einige Autoren dem Unsicherheitsfaktor Rechnung zu tragen. Soweit Eintrittswahrscheinlichkeiten für bestimmte Umweltzustände angegeben werden können, tritt anstelle eines deterministischen ein stochastischer Entscheidungsbaum. Das Ziel ist dabei die Minimierung des Erwartungswertes des Gewinn- oder Kostenkriteriums (Hespos and Straßmann, 1965). Wenn keine Eintrittswahrscheinlichkeiten für bestimmte Umweltkonstellationen mehr angegeben werden können, tritt häufig die Suche nach einem robusten ersten Schritt anstelle einer Optimierung des Endzustandes. Man versucht dabei der Unsicherheit der Umweltentwicklung Rechnung zu tragen, indem man eine Entscheidung trifft, die eine möglichst flexible Ausgangssituation für die weitere Entwicklung schafft (Gupta and Rosenhead, 1969).

Aufgrund ihrer beschränkten Anwendbarkeit kommt diesen dynamischen Modellen in der Praxis jedoch nur geringe Bedeutung zu. Der Grund liegt hauptsächlich darin, daß im Hinblick auf einen vertretbaren Lösungsaufwand die Probleme in diesen Modellen nur stark vereinfacht abgebildet werden können.

Das mehrperiodische Modell von Liebmann

Abweichend von den bisher beschriebenen Ansätzen der dynamischen Programmierung finden wir bei Liebmann (1971) ein komplexes, mehrperiodisches Standortmodell für die Auswahl von Produktionsstätten. Bei diesem Globalmodell von Liebmann sollen simultan mit der Wahl des Produktionsstandortes auch das Investitions- und Finanzierungsprogramm, das Produktions- und Absatzprogramm sowie das Beschaffungs- und das Lagerhaltungsprogramm für Rohstoffe und Fertigprodukte bestimmt werden. Der Entscheidungszeitraum umfaßt mehrere Perioden. "Das Modell baut auf den planungsrelevanten Zahlungsströmen auf, d.h. auf den Ein- und Auszahlungen, deren Auftreten und Höhe davon abhängt, welche im Modell berücksichtigten Alternativen die Geschäftsleitung in den einzelnen Perioden ergreift" (Liebmann 1971, S. 116).

Zielsetzung des Modells ist die Maximierung des Vermögens am Ende des Planungszeitraumes. Damit wird verlangt, daß die gesamten Einzahlungsüberschüsse der Perioden $t = 0, 1, \dots, t'-1$ gleich Null sind. Erst die Einzahlungsüberschüsse in der letzten Periode t' sollen maximiert werden.

Im produktionswirtschaftlichen Teil des Modells wird eine Antwort auf die Frage gesucht, wieviele Produktionsstätten in welcher Periode an welchem Standort errichtet werden sollen. Darüber hinaus sollen gleichzeitig auch die arten- und mengenmäßige Verteilung der Produkte auf die Produktionsstandorte, das Produktionsverfahren und der Arbeitskräfteeinsatz bestimmt werden. Im letzten Fall wird über eine Restriktion sichergestellt, daß in jeder Periode und an jedem Standort nicht mehr Arbeitseinheiten verbraucht werden, wie dort einsetzbar sind. Weiterhin sind Entscheidungen darüber zu treffen, welche und wieviele Aggregattypen an einer zu errichtenden Produktionsstätte eingesetzt werden sollen.

Der beschaffungswirtschaftliche Teil des Modells beschäftigt

sich mit der Frage, welche Rohstoffe in welchen Mengen beschafft und an den zu wählenden Produktionsstätten gelagert werden sollen. Ebenso ist die Lagerpolitik für Fertigprodukte zu bestimmen. Die Obergrenzen der Lagerkapazitäten sind dabei durch Investitionen veränderbar.

Der absatzwirtschaftliche Teil des Modells befaßt sich mit den absatzpolitischen Instrumenten, Preisdifferenzierung und Werbung. Gesucht ist die optimale Preispolitik auf allen Regional- und Teilmärkten zusammen mit dem optimalen Werbemittelsatz. Liebmann geht dabei von einer fallenden Preis-Absatz-Funktion aus, die, um eine quadratische Zielfunktion zu vermeiden, in verschiedene Preisstufen aufgelöst wird.

Schließlich hat das Modell auch einen finanzwirtschaftlichen Teil, in dem Liebmann die Auswahl der Finanzierungsmaßnahmen und der Finanzinvestitionen zur Aufgabe stellt. Um die Liquidität des Unternehmens zu gewährleisten, wird eine Finanzierungsbedingung formuliert, die sicherstellt, daß in jeder Periode die Ausgaben die Einnahmen und den Bestand an liquiden Mitteln nicht übersteigen. Dabei sieht das Modell auch die Möglichkeit vor, freie Mittel in Finanzinvestitionen anzulegen, was zur Folge hat, daß die Realinvestitionsprojekte mit den Geldanlagemöglichkeiten um das dem Unternehmen zur Verfügung stehende knappe Kapital konkurrieren.

Vom theoretischen Standpunkt aus betrachtet, ist das Modell von Liebmann der gelungene Versuch, alle bei der Standortwahl von Produktionsstätten relevanten Einflußfaktoren aus den verschiedenen Unternehmensbereichen in einem Globalmodell abzubilden und damit die simultane Festlegung der Entscheidungsvariablen zu ermöglichen. Die Anwendung dieses Modells in der Praxis ist jedoch problematisch. Vor allem die zeitliche Vorhersehbarkeit der Zahlungsströme ist mit erheblichen Schwierigkeiten behaftet und langfristig in der Regel gar nicht möglich. Und da das Modell vorsieht, daß alle Aggregate bis zum Planungshorizont liquidiert werden, ist von einer

relativ langfristigen Betrachtung auszugehen, die u. U. sogar mit der Lebensdauer der Unternehmung zusammenfallen wird.

Auch im absatzwirtschaftlichen Teil des Modells stellen sich erhebliche Probleme. So ist die Ermittlung einer Preis-Absatz-Funktion in der Praxis kaum möglich. Ähnlich schwierig ist auch die Ermittlung differenzierter Werbewirkkoeffizienten. Wie schon im Modell von Jacob wird auch bei Liebmann auf die speziellen Probleme einer mehrstufigen, verbundenen Produktion nicht eingegangen. Aus den genannten Gründen ist das Globalmodell von Liebmann in unserem Fall nicht anwendbar. Wenn wir diesen Ansatz jedoch auf eine statische Betrachtungsweise übertragen, sind einige Modellteile durchaus auch für unsere spezielle Problemstellung relevant.

Zusammenfassend kommen wir zu dem Ergebnis, daß Standortwahlprobleme für den speziellen Fall einer verbundenen Produktion in der Literatur kaum Beachtung finden. Eine Ausnahme bildet das Modell von Masch, das jedoch für den Mehrproduktbetrieb nur in Ausnahmefällen anwendbar ist. Die Gründe hierfür sind zum einen sicher in der engen Problemstellung zu sehen, zum anderen aber auch in den Lösungsschwierigkeiten, die mit komplexen Standortmodellen verbunden sind. Die Hauptprobleme sind dabei:

- der Mehrproduktfall
- mehrstufige Produktions- und Transportbeziehungen
- nichtlineare Kostenfunktionen
- Kapazitätsvariationen
- im Zeitablauf sich ändernde Umweltbedingungen.

Die intensive Suche nach Lösungsmöglichkeiten, speziell für gemischt-ganzzahlige Modelle, hat dabei zur Entwicklung einer Vielzahl von verfahrensorientierten Partialmodellen geführt, während problemorientierte Ansätze für die praktische Anwendung nach wie vor im Hintergrund stehen.

KAP. 4 ENTWICKLUNG EINES ENTSCHEIDUNGSMODELLS FÜR ZWEI PRODUKTIONSSTÄNDE

Da das betrachtete Unternehmen nur zwei räumlich getrennten Produktionsstandorte hat und die Errichtung weiterer Werke a priori ausgeschlossen wurde, können wir uns bei der Entwicklung unseres Modells auf den 2-Standorte-Fall beschränken.

4.1 Klassifizierung des Modells

Neben der für Standortprobleme typischen Ganzzahligkeit der Entscheidungsvariablen haben auch der Bestimmtheitsgrad der Parameter und ihr zeitlicher Bezug die Modellkonstruktion wesentlich beeinflusst.

Da wir in der Praxis Wahrscheinlichkeitsverteilungen für das Eintreten bestimmter Umweltfaktoren nicht ermitteln konnten, unterscheiden wir deterministische und verteilungsfreie Modellparameter. Während vor allem die technischen Parameter (Maschinenkapazitäten, Belegzeiten, Fertigungszeiten etc.) weitgehend bestimmt sind, ist die Entwicklung der Nachfrage und auch die Entwicklung bestimmter Kostenparameter (Fracht, Lohnkosten) sowie die wirtschaftliche Nutzungsdauer von neuen Anlagen nur schwer vorhersehbar. Insbesondere die Nachfrageentwicklung ist in der Automobilindustrie äußerst unsicher, da sie von vielen nur schwer kalkulierbaren Umweltfaktoren beeinflusst wird. So können z. B. politische Entscheidungen, wie die Einführung eines Tempolimits oder, wie die Vergangenheit gezeigt hat, Ölpreiserhöhungen die Nachfrage nach bestimmten Automobiltypen in unvorhersehbarer Weise verändern. Auch bei der Einführung neuer Modelle ist äußerst ungewiß, wie der Markt, der von starken Konkurrenzbeziehungen geprägt ist, reagiert.

Wir müssen deshalb in unserem Modell Vorkehrungen treffen, um

das Risiko aufzeigen zu können, das bestimmten Entscheidungsalternativen bei veränderten Umweltkonstellationen anhaftet.

Hinsichtlich des zeitlichen Bezuges der Modellparameter galt es insbesondere abzuklären, inwieweit eine dynamische Modellformulierung notwendig bzw. inwieweit ein statischer Modelltyp zulässig ist.

"Ein dynamisches Modell ist grundsätzlich dann angezeigt, wenn die Entscheidungen eines Zeitabschnittes den Spielraum und/oder die Wirksamkeit späterer Entscheidungen beeinflussen, kurz, wenn eine zeitliche Wechselwirkung von Entscheidungen erkennbar ist" (Hanssmann, 1978, S. 79). In unserem Fall stellt sich also die Frage, in welchem Maße eine einmal gewählte Produktionsverteilung spätere Produktionsverteilungen beeinflusst. Eine solche Abhängigkeit ist vor allem dann gegeben, wenn die Entscheidung für eine bestimmte Verteilung hohe Investitionen bedingt, wie das für Produktionsanlagen mit relativ langer Nutzungsdauer der Fall ist. Hier wird man die Anlage auch bei späteren Produktionsverteilungen auszulasten versuchen. In diesem Zusammenhang stellt sich weiterhin die Frage, ob eine Verlagerung dieser Anlagen möglich ist und welche Kosten dadurch verursacht werden. Im Falle hoher Verlagerungskosten bei vergleichsweise geringen Kostenersparnissen, die durch den Standortwechsel erreicht werden können, ist eine Beeinflussung späterer Produktionsverteilungen eindeutig gegeben.

In der Praxis sind es vor allem die kostenintensiven Pressenstraßen, bei denen eine Verlagerung faktisch auszuschließen ist. Da es sich hierbei um Universalmaschinen handelt, sind die oben dargestellten Abhängigkeiten von Produktionsverteilungsentscheidungen nur dann gegeben, wenn ein bestimmtes Teil aufgrund technischer Restriktionen nur auf einer bestimmten Straße, an einem bestimmten Standort produziert werden kann und somit der andere Produktionsstandort nicht in Frage kommt. Da die Preßwerke an beiden Standorten erst in letzter Zeit mit

modernen Pressenstraßen ausgestattet wurden, können wir diesen Sachverhalt auf Einzelfälle beschränken. Bei Montageteilen ist eine Verlagerung von Fertigungsanlagen weniger problematisch und deshalb durchaus in Betracht zu ziehen. Häufig ist die Nutzungsdauer dieser Anlagen auf die Laufzeit einer Serie beschränkt. Für die nachfolgende neue Serie werden dann die Anlagen ersetzt, wodurch man grundsätzlich bei der Wahl des Fertigungsstandortes nicht gebunden ist, obwohl hier auch die Raumverfügbarkeit und ablauftechnische Restriktionen eine Rolle spielen.

Im Zuge der fortschreitenden Automatisierung der Fertigungsanlagen in der Automobilindustrie (insbesondere im Karosseriebau) wird diese Verteilungsflexibilität wiederum eingeschränkt. Die kostenintensiven Fertigungsanlagen der neuen Generation können auf neue Typen eingestellt werden und sind deshalb länger nutzbar. Bezüglich der zeitlichen Abhängigkeit von Produktionsverteilungsentscheidungen gelten damit ähnliche Überlegungen, wie wir sie bereits eingangs für Pressenstraßen angestellt haben. Der Einsatz solcher Anlagen im Bereich der transportfähigen Teile ist jedoch auf wenige Baugruppen beschränkt.

Als weitere Voraussetzung für eine dynamische Modellformulierung müßte die Nachfrageentwicklung über mehrere Perioden angegeben werden. Wie wir jedoch bereits festgestellt haben, ist gerade die Entwicklung der Nachfrage sehr schwer prognostizierbar. Wir haben deshalb von einem dynamischen Modell Abstand genommen und einen statischen Modelltyp entwickelt. Dem Benutzer bleibt dabei die Möglichkeit erhalten, im Wege einer komparativ-statischen Analyse die Entscheidungsalternativen im Lichte unterschiedlicher Umweltentwicklungen zu analysieren. Die angewandte Lösungsheuristik gibt ihm dabei auch die Möglichkeit, ausgehend von einer bestimmten Umweltkonstellation, die Anpassungskosten für verschiedene Umweltentwicklungen zu berechnen.

4.2 Abbildung der modellrelevanten Systemzusammenhänge

4.2.1. Die mehrstufige Teilefertigung

In der Teilefertigung müssen wir zwischen Baugruppen, das sind Montageteile und Schweißgruppen und Einzelteile, das sind in unserem Falle alle Preßteile unterscheiden. Entsprechend ordnen wir alle Teile i in eine Reihenfolge, so daß alle Teile $i = 1, \dots, i'$ Baugruppen und alle Teile $i'+1, \dots, n$ Preßteile sind. Weiterhin führen wir für alle Produktionsanlagen an den Standorten $j = 1, 2$ den Index $p = 1, \dots, m$ ein. Um auch die Anschaffung neuer Anlagen berücksichtigen zu können, seien alle $p = 1, \dots, p'$ alle bereits installierte Anlagen und $p = p'+1, \dots, m$ alle neuen Anlagen. Dabei stehen die verschiedenen p im Bereich $p = p'+1, \dots, m$ auch für verschiedene Investitionsalternativen. Als Entscheidungsvariablen führen wir die Produktionsmengen x_{ij} , ein, die von Teil i am Standort j auf Anlage p hergestellt werden sowie die binäre Variable z_{jp} , für die gilt:

$$(421.1) \quad z_{jp} = \begin{cases} 1 & \text{wenn am Standort } j \\ & \text{Anlage } P \text{ eingesetzt wird} \\ 0 & \text{sonst} \end{cases}$$

Da die Variable z_{jp} nur die Werte 0 und 1 annehmen kann, betrachten wir in unserem Modell nur ganz konkrete Investitionsprojekte für alle $p = p'+1, \dots, m$. Da in der Praxis der multiple Einsatz gleichartiger Kapazitäten der Ausnahmefall sein wird, halten wir diese Vorgehensweise für gerechtfertigt. Es seien weiterhin v_{ijp} die variablen Kosten von Teil i am Standort j auf Anlage p . Wenn t_{ijp} die Fertigungszeit für Teil i am Standort j auf Anlage p ist und c_{ij}^F die Personalkosten pro Fertigungsminute, so können wir die variablen Kosten für Baugruppen (für die wir keine Maschinenkosten ansetzen) nach

$$(421.2) \quad v_{ijp} = t_{ijp} \cdot c_{ij}^F \quad (\text{für alle } i=1, \dots, i')$$

Für alle Preßteile setzen sich die variablen Kosten aus den Fertigungspersonalkosten und den Maschinenkosten zusammen. Die Maschinenkosten hängen dabei von der Belegung der einzelnen Pressen q in Anlage p (Pressenstraße) ab. In einer Pressenstraße können bis zu sieben Maschinen nacheinander angeordnet sein. Der Produktionsprozeß ist taktgebunden und beginnt immer mit der ersten Maschine (Kopfpresse), an die sich je nach Stufung des Produktionsprozesses, weitere Maschinen in Reihe anschließen. Aufgrund der Taktbindung sind die Belegzeiten auf allen Maschinen gleich, so daß wir sie anlagenbezogen definieren können. Es sei b_{ij} , die Belegzeit von Teil i am Standort j auf Anlage p . Der Maschinenkostensatz c_{ij}^M , für Teil i am Standort j auf Anlage p ergibt sich aus den Kostensätzen c_{ijpq}^M , der einzelnen Maschinen q , die auf Anlage p am Standort j für die Produktion von Teil i belegt werden. Wir definieren die Belegungsvariable ξ_{ijpq} , nach Gleichung 421.3 und können dann den Maschinenkostensatz c_{ij}^M , nach Gleichung 421.4 berechnen.

$$(421.3) \quad \xi_{ijpq} = \begin{cases} 1 & \text{wenn Teil } i \text{ am Standort } j \\ & \text{in Pressenstr. } p \text{ Maschine } q \text{ belegt} \\ 0 & \text{sonst} \end{cases}$$

$$(421.4) \quad c_{ij}^M = \sum_{q=1}^{\bar{q}_p} \xi_{ijpq} \cdot c_{ijpq}^M \quad (\text{für alle } i, j, p)$$

Da die Fertigungszeiten bei der Preßteileproduktion auf Anlagen bezogen ermittelt werden, können wir nun die variablen Kosten in Gleichung 421.5 zusammenfassen.

$$(421.5) \quad v_{ijp} = t_{ijp} \cdot c_{ij}^F + b_{ijp} \cdot c_{ijp}^M$$

(für alle $i=i'+1, \dots, n$)

Neben den variablen Kosten sind auch die fixen Kosten entscheidungsabhängig, die sich aus Investitionen ergeben. Dem entsprechend müssen wir entscheidungsabhängige Fixkosten Fl_{ip} in Ansatz bringen, wenn eine Anlage $p = p'+1, \dots, m$ für die Pro-

duktion eingesetzt wird.

Die fixen Kosten bestehender Produktionsanlagen sind jedoch nicht entscheidungsabhängig, so daß gilt:

$$(421.6) \quad FI_{jp} = 0 \quad (\text{für alle } p=1, \dots, p')$$

Da wir auch die Verlagerung von bestehenden Anlagen zu den Investitionen zählen, müssen wir zusätzlich eine entsprechende Investitionsalternative formulieren, da die Verlagerung einer Anlage entscheidungsabhängige fixe Kosten mit sich bringt. Es sei $\hat{p}$ die zu verlagernde Anlage und p^* die entsprechende Investitionsalternative. Dabei muß gelten $1 \leq \hat{p} \leq p'$ sowie $p' + 1 \leq p^* \leq m$. Um nun zu vermeiden, daß in unserem Modell die gleiche Anlage an beiden Standorten gleichzeitig eingesetzt wird, formulieren wir folgende Bedingung:

$$(421.7) \quad \sum_j z_{j\hat{p}} + z_{jp^*} = 1 \quad (\text{für alle } \hat{p}, p^*)$$

Diese Bedingung muß auch dann gelten, wenn eine Anlage $\hat{p}$ durch eine neue Anlage p^* ersetzt wird.

Unabhängig davon, welche Anlage für die Produktion gewählt wird, können alleine durch die Entscheidung, Teil i am Standort j herzustellen, standortabhängige Kosten verursacht oder im anderen Falle solche Kosten abgebaut werden, wenn Teil i nicht mehr am Standort j produziert wird. Dementsprechend definieren wir FA_{ij} als die abbaufähigen Fixkosten, wenn Teil i am Standort j nicht mehr produziert wird und FZ_{ij} als die zusätzlichen Fixkosten, die entstehen, wenn Teil i am Standort j produziert wird. Bei der Preßteileproduktion können wir in unserem Falle auch die Rustkosten zu diesen standortabhängigen Kosten zählen. In der Praxis orientiert sich die Preßteileproduktion nach bestimmten Produktionszyklen, d. h. ein Teil

wird planmäßig alle 5, 10 oder 20 Tage aufgelegt. Damit ist die Zahl der durchschnittlichen Rüstvorgänge pro Jahr konstant und die Rüstkosten ergeben sich unabhängig von der Losgröße (vgl. Kap. 2.4).

Wenn wir nun noch annehmen, daß sich die Rüstzeiten nicht wesentlich unterscheiden, wenn gleiche Werkzeugsätze in die eine oder andere Anlage eingebaut werden, so lassen sich entsprechend dieser vereinfachenden Annahmen die Rüstkosten zusammen mit den standortabhängigen Fixkosten FZ_{ij} erfassen. Schließlich müssen wir auch noch die Kosten für einen zweiten Werkzeugsatz FW_i für Teil i berücksichtigen, die immer dann anfallen, wenn ein Preßteil an beiden Standorten hergestellt wird. Bevor wir nun die Produktionskosten CP in Gleichung 421.9 zusammenfassen, definieren wir die Standortvariable y_{ij} , für die gilt:

$$(421.8) \quad y_{ij} = \begin{cases} 1 & \text{wenn Teil } i \text{ am Standort } j \\ & \text{produziert wird, also } \sum_p x_{ijp} > 0 \text{ ist} \\ 0 & \text{sonst} \end{cases}$$

$$(421.9) \quad CP = \sum_i \sum_j \sum_p v_{ijp} \cdot x_{ijp} +$$

variable Kosten der Produktion

$$+ \sum_j \sum_p z_{jp} \cdot FI_{jp}$$

fixe Kosten für neue Anlagen

$$\sum_{i=i'+1}^n (y_{i1} + y_{i2} - 1) FW_i$$

Kosten für den 2. Werkzeugsatz

$$+ \sum_i \sum_j (y_{ij} FZ_{ij} - FA_{ij} + y_{ij} \cdot FA_{ij})$$

standortabhängige Kosten

Um für die Anlagen p Kapazitätsrestriktionen angeben zu können, soll K_{jp} , die verfügbare Kapazität von Anlage p am Standort j sein. Dabei messen wir die Kapazität der teilespezifischen Fertigungsanlagen in Stück pro Tag, die Kapazität von Pressenstraßen in Belegzeiteinheiten. Im letzteren Falle müssen wir berücksichtigen, daß die verfügbare Kapazität in der Regel kleiner ist als die installierte Kapazität, da die Maschinen bis zu einem bestimmten Grad, der für uns gegeben ist, auch mit Teilen von anderen Fahrzeugtypen ausgelastet sind. Wird eine alte Kapazität durch eine neue ersetzt, so muß auch bei der neuinstallierten Kapazität ein entsprechender Kapazitätsbedarf in Abzug gebracht werden. Wenn wir mit p' alle Anlagen bezeichnen, die zur Produktion von Preßteilen eingesetzt werden, wenn weiterhin $T_{jp'}$ die installierte Kapazität von Anlage p' am Standort j ist, und $h_{jp'}$ die für Anlage p gegebene Auslastung am Standort j , so können wir die verfügbare Kapazität $K_{jp'}$ wie folgt angeben:

$$(421.10) \quad K_{jp'} = T_{jp'} \cdot (1 - h_{jp'}) \quad (\text{für alle } j, p')$$

wobei $0 \leq h_{jp'} \leq 1$

Da wir für alle teilespezifischen Kapazitäten $p \neq p'$ die Kapazität in Stückzahlen messen, muß für b_{ijp} gelten:

$$(421.11) \quad b_{ijp} = 1 \quad \text{für alle } p \neq p'$$

Wenn wir nun noch für alle technisch unzulässigen Belegungen der Anlagen p , $b_{ijp} = 0$ setzen, können wir die Kapazitätsrestriktionen nach Gleichung 421.12 formulieren:

$$(421.12) \quad \sum_i x_{ijp} \cdot b_{ijp} \leq z_{jp} \cdot K_{jp} \quad (\text{für alle } j, p)$$

Den Bedarf B_i an Teilen i können wir durch die Stücklistenauflösung aus dem Bedarf an Endprodukten (der für uns gegeben ist) sowie aus dem Ersatzteilbedarf ableiten. Wenn B^E_i der aus

der Stückliste ermittelte Fertigungsbedarf an Teilen i und B_i^E der Ersatzteilbedarf an Teilen i ist, gilt für den Gesamtbedarf:

$$(421.13) \quad B_i = B_i^F + B_i^E \quad (\text{für alle } i)$$

Da wir Bedarfsdeckung fordern, unterliegen die Produktionsmengen folgenden Restriktionen:

$$(421.14) \quad \sum_j \sum_p x_{ijp} = B_i \quad (\text{für alle } i)$$

$$x_{ijp} \geq 0 \quad (\text{für alle } i, j, p)$$

Da Ersatzteile aus dem weiteren Produktionsprozeß ausscheiden und an dem Standort gelagert werden, an dem sie hergestellt wurden, müssen wir zur Behandlung der weiteren Modellteile die Produktionsmenge x_{ijp} unterscheiden: in die Teilmengen x_{ijp}^F , der in die nachfolgenden Fertigungsstufen eingehenden Teile und in die Ersatzteilmenge x_{ijp}^E . Offenbar können wir schreiben:

$$(421.15) \quad x_{ijp} = x_{ijp}^F + x_{ijp}^E$$

$$x_{ijp}^F, x_{ijp}^E \geq 0 \quad (\text{für alle } i, j, p)$$

Unser Produktionsmodell läßt sich entsprechend abändern, wenn wir alle x_{ijp} durch die rechte Seite der Gleichung 421.15 ersetzen und die Bedarfsrestriktionen in Gleichung 421.13 wie folgt abändern:

$$(421.16) \quad \sum_j \sum_p x_{ijp}^F = B_i^F \quad (\text{für alle } i)$$

$$(421.17) \quad \sum_j \sum_p x_{ijp}^E = B_i^E \quad (\text{für alle } i)$$

4.2.2. Der Zwischenwerksverkehr

Wie im Kapitel 2 beschrieben, unterscheiden wir im Zwischenwerksverkehr vier alternative Transportmittel a .

Für jedes Transportmittel unterscheiden wir vier Transportkostensätze $c_{i,k}^a$, die für verschiedene Gewichtsklassen k gelten. Die Klassen $k = 1, \dots, 3$ stehen dabei für den Transport von Teilen, die Transportklasse $k = 4$ für den Rücktransport von leeren Transportbehältnissen. Es sei weiterhin $\lambda_{i,j}^a$ die Menge von Teil i , die mit Transportmittel a zum Standort j transportiert wird und $\lambda_{i,j}^a$ die Zahl der Leerbehälter, die nach j transportiert werden. Ferner sei $d_{i,a}$ der Laderaumbedarf von Teil i im Transportmittel a und $d_{i,a}$ der Laderaumbedarf vom Behälter l im Transportmittel a . Weiterhin definieren wir eine binäre Zuordnungsvariable $\mu_{i,k}^a$, für die gilt:

$$(422.1) \quad \mu_{i,k}^a = \begin{cases} 1 & \text{wenn Teil } i \text{ im Transportmittel } a \\ & \text{in Ladeklasse } k \text{ transportiert wird} \\ 0 & \text{sonst} \end{cases}$$

$$(422.2) \quad \sum_k \mu_{i,k}^a = 1 \quad (\text{für alle } i, a)$$

Da wir auch die fixen Kosten FT_a für die Anschaffung neuer Transportmittel in Ansatz bringen, gibt die Entscheidungsvariable ϵ_a die Zahl der neu zu beschaffenden Transportmittel an.

Die Transportkosten im Zwischenwerksverkehr CT lassen sich nun wie folgt angeben:

$$(422.3a) \quad CT = \sum_i \sum_j \sum_a \lambda_{ija} \cdot d_{ia} \cdot \sum_k \mu_{iak} \cdot c_{ak}^T + \sum_l \sum_j \sum_a \lambda'_{lja} \cdot d_{la} \cdot c_{a4}^T + \sum_a \epsilon_a \cdot FT_a$$

$$\epsilon_a \geq 0 \text{ und ganzzahlig}$$

Wie wir in Kapitel 2 bereits festgestellt haben, werden über 90 % aller Teile im Zwischenwerksverkehr in der Gewichtsklasse $k = 1$ transportiert. Nur beim Transport von Kleinteilen und außergewöhnlich schweren Teilen werden auch höhere Gewichtsklassen k erreicht. Demzufolge können die Zuordnungsvariablen μ_{iak} entsprechend festgelegt werden (vgl. Kap. 5). Wir erhalten somit für jedes Teil i und jedes Transportmittel a einen Kostensatz c_{ia}^T und können für Gleichung 422.3a vereinfachend schreiben:

$$(422.3b) \quad CT = \sum_i \sum_j \sum_a \lambda_{ija} c_{ia}^T + \sum_l \sum_j \sum_a \lambda'_{lja} \cdot c_{la} + \sum_a \epsilon_a \cdot FT_a$$

wobei offenbar gilt:

$$(422.4a) \quad c_{ia}^T = d_{ia} \cdot c_{ak}^T \quad (\text{für alle } i, a)$$

$$(422.4b) \quad c_{1a}^T = d_{1a} \cdot c_{a4}^T \quad (\text{für alle } 1, a)$$

Um die Transportströme erkennen zu können, müssen wir die Verknüpfung der Teile in den einzelnen Fertigungsstufen entsprechend der Stückliste erfassen. Wir ordnen die Teile in den Zeilen und Spalten der Matrix $A(i, \hat{i})$ für $i=1, \dots, n$ und $\hat{i}=1, \dots, n$ nach Fertigungsstufen und Baugruppen (vgl. Abb. 4.1 und 4.2). Der Verknüpfungskoeffizient $\alpha_{i\hat{i}}$ gibt nun an, in welcher Zahl das Teil $\hat{i}$ in das Teil i eingeht. Alle $\alpha_{i\hat{i}}$ unterhalb der Hauptdiagonalen haben aufgrund dieser Anordnung den Wert 0. Wie das Beispiel in Abbildung 4.1 und 4.2 zeigt, lassen sich auf diese Weise die Verknüpfungen der Teile in den einzelnen Fertigungsstufen darstellen.

Nun sind wir in der Lage, die Transportmengen nach Gleichung 422.5 zu bestimmen.

$$(422.5) \quad \sum_{i=1}^{\hat{i}-1} \sum_P (x_{ijp}^F + x_{ijp}^E) \alpha_{i\hat{i}} - \sum_P x_{\hat{i}jp}^F - \\ - \sum_a \lambda_{\hat{i}ja} \leq 0 \quad (\text{für alle } \hat{i}, j)$$

$$\text{wobei gilt } \lambda_{\hat{i}ja} \geq 0 \quad (\text{für alle } \hat{i}, j, a)$$

Das Transportvolumen für Teil i entspricht dabei der Differenz aus dem Bedarf an Teilen i in den übergeordneten Fertigungsstufen am Standort j und der Eigenproduktion von Teil i am Standort j . Da wir die Minimierung der Kosten verlangen und λ_{ija} in der Zielfunktion steht, wird für positives λ_{ija} die

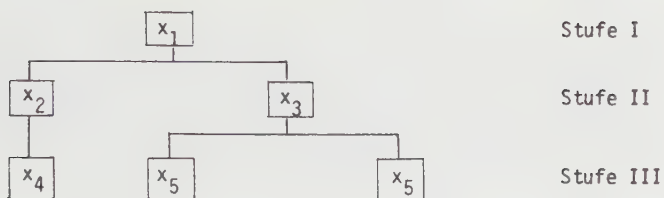


Abb. 4.1.: Baugruppe $G(x_1, \dots, x_5)$

$x_i \backslash x_{\hat{i}}$	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	$\dots$	$x_{\hat{i}}$	$x_{\hat{i}+1}$	x_n
x_1	0	1	1	0	0				
x_2		0	0	1	0				
x_3			0	0	2			$\alpha_{3, \hat{i}+1}$	
x_4				0	0				
x_5					0				
$\vdots$						0			
x_i							0		
x_{i+1}								0	
x_n									0

Abb. 4.2: Verknüpfungsmatrix $A(i, \hat{i})$

linke Seite der Gleichung 422.6. gleich Null, wenn für Teil i am Standort j der Fertigungsbedarf größer ist als die Produktionsmenge oder kleiner Null, wenn die Produktionsmenge größer ist als der Bedarf am Standort j . Im letzten Falle nehmen aufgrund des Minimierungsansatzes alle $\lambda_{i,j}$ den Wert Null an.

Jedes Teil wird in einem bestimmten Behältertypen l transportiert. Nach dem Entladen im Empfängerwerk werden die Behälter wieder beladen, sofern der jeweilige Behältertyp zu Transportzwecken eingesetzt werden kann (dies gilt vor allem für Universalbehälter). Wenn keine Verwendungsmöglichkeit besteht, müssen die leeren Behälter zum Absender zurücktransportiert werden. Wenn weiterhin ψ_{il} das Packlos von Teil i im Behälter l ist, gelten für den Leerbehältertransport die Mengenbedingungen 422.6 und 422.7:

$$(422.6) \quad \sum_i \sum_a \lambda_{i1a} \cdot \frac{1}{\psi_{i1}} - \sum_i \sum_a \lambda_{i2a} \cdot \frac{1}{\psi_{i1}} - \sum_a \lambda'_{12a} \leq 0 \quad (\text{für alle } l)$$

$$(422.7) \quad \sum_i \sum_a \lambda_{i2a} \cdot \frac{1}{\psi_{i1}} - \sum_i \sum_a \lambda_{i1a} \cdot \frac{1}{\psi_{i1}} - \sum_a \lambda'_{11a} \leq 0 \quad (\text{für alle } l)$$

Schließlich sind für die einzelnen Transportmittel a auch noch Kapazitätsrestriktionen zu beachten, die wir in Gleichung 422.8 zusammenfassen. Dabei sei Z_a die Zahl der verfügbaren Transportmittel vom Typ a .

$$(422.8) \quad \sum_i \sum_j \lambda_{ija} \cdot d_{ia} +$$

$$\sum_l \sum_j \lambda'_{lja} \cdot d_{la} \leq Z_a + \epsilon_a \quad (\text{für alle } a)$$

Für den Fall, daß ein Transportmittel in unbeschränkter Zahl zur Verfügung steht, setzen wir für Z_a eine entsprechend große Zahl ein.

4.2.3. Externer Lagertransport

Da am Standort Ingolstadt im Gegensatz zum Standort Neckarsulm auch ein externes Lager außerhalb des Werksgeländes betrieben wird, wollen wir die Transportkosten zu diesem Lager in unserem Modell erfassen.

Das Lager hat einen eigenen Gleisanschluß, so daß alle Teile, die aus diesem Lager in den Zwischenwerksverkehr gehen, über diese externe Verladestation laufen. Für den Transport zwischen dem Werk und dem externen Lager werden am Standort Ingolstadt LKWs von Spediteuren angemietet. Die Kosten pro Fahrt zwischen dem Werk und dem externen Lager seien $c'_{4,5}$, wobei die Transportalternative 4 für den LKW-Transport steht und $k = 5$ den Transportkostensatz bezeichnet. Im Gegensatz zum Fernverkehr müssen wir hier im Kurzstreckenverkehr keine Gewichtsklassen unterscheiden. Die Frachtkosten berechnen sich nach der durchschnittlichen Transportzeit. Wenn wir weiterhin

g Lager unterscheiden und $g = 1$ das externe Lager in Ingolstadt ist, lassen sich die Frachtkosten c_{ig}^{TL} nach Gleichung 423.1 für alle Teile $i = i^*$, die zum Lager $g = 1$ transportiert werden, bestimmen:

$$(423.1) \quad c_{ig}^{TL} = d_{i4} \cdot c_{45}^T \quad (\text{für alle } i = i^* \text{ und } g = 1)$$

Für alle Teile $i \neq i^*$ setzen wir $c_{i1}^{TL} = 0$. Die Transportmengen für alle Teile $i = i^*$ setzen sich zusammen aus allen Teilen, die in Ingolstadt für die Fertigung hergestellt und im externen Lager zwischengelagert werden, aus den Teilen, die vom externen Lager wieder in die Produktion zurückgeliefert werden sowie aus den Teilen, die in Neckarsulm hergestellt, zum externen Lager in Ingolstadt transportiert und von dort der Fertigung zugeliefert werden. Damit können wir die Transportkosten nach Gleichung 423.2 berechnen:

$$(423.2) \quad C^{TL} = \sum_i \sum_p x_{i1p}^F \cdot c_{i1}^{TL} +$$

im Werk hergestellte Teile

$$+ \sum_i \left(\sum_p x_{i1p}^F - \sum_a \lambda_{i2a} \right) c_{i1}^{TL}$$

im Werk 1 produzierte und weiterverarbeitete Teile

$$+ \sum_i \sum_a \lambda_{i1a} c_{i1}^{TL} +$$

(von Werk 2) zum Werk 1 gelieferte Teile

4.2.4. Der Warenumschlag

Im Transportsystem zwischen den beiden Audi-Werken existieren drei Verladestationen e für den Schienentransport. Wir bezeichnen mit $e = 1$ und $e = 3$ die internen Verladestationen in Ingolstadt und Neckarsulm sowie mit $e = 2$ die externe Verladestation in Ingolstadt. Die Umschlagskapazität dieser Stationen ist auf eine bestimmte Anzahl von Waggons beschränkt, die pro Tag be- und entladen werden können. Es sei U_e die verfügbare Umschlagskapazität in Station e . Im Gegensatz zum Schienentransport sind der Be- und Entladung von LKWs keine Umschlagsgrenzen gesetzt, da LKWs an jedem freien Platz auf dem Werksgelände be- und entladen werden können.

Da die Transportmittel, die wir im Schienenverkehr einsetzen, unterschiedliche Laderäume haben, führen wir Äquivalenzziffern ein und sind damit in der Lage, die Kapazitätsrestriktionen zu formulieren. Dementsprechend definieren wir die verfügbare Umschlagskapazität U_e in Waggoneneinheiten vom Transportmitteltyp $a = 1$, die in den Verladestationen e umgeschlagen werden können. Die Äquivalenzziffern für die Transportmitteltypen $a = 2$ und 3 berechnen wir aus dem Verhältnis der Transportlose für alle Behältertypen l . Es sei θ_a die Äquivalenzziffer für Transportmittel a , wobei wir $\theta_1 = 1$ setzen. Wenn weiterhin d_{la} das Transportlos von Behältern l in Transportmittel a ist, können wir die Äquivalenzziffern wie folgt angeben:

$$(424.1) \quad \theta_a = \frac{\sum_l d_{la}}{\sum_l d_{l1}} \quad (\text{für } a = 2, 3)$$

Da der Kapazitätsbedarf $d_{i..}^*$ von Teil i , das in den Verladestationen e auf Transportmittel a umgeschlagen wird, in allen Stationen gleich ist, können wir für alle Teile $i=i^*$, die den Stationen zugeordnet sind, den Kapazitätsverbrauch nach Gleichung 424.2 angeben.

$$(424.2) \quad d_{iea}^U = d_{ia}^* \cdot \theta_a \quad (\text{für alle } a, e \text{ und } i=i^*)$$

Für alle Teile $i \neq i^*$, die nicht in der Station e verladen werden, setzen wir $d_{i..}^* = 0$. Analog lassen sich auch die Kapazitätsbedarfsfaktoren $d_{i..}^*$ für alle Leerbehälter $l=l^*$, die in Verladestation e umgeschlagen werden, angeben:

$$(424.3) \quad d_{lea}^U = d_{la}^* \cdot \theta_a \quad (\text{für alle } a, e \text{ und } l=l^*)$$

Bezüglich der Umschlagskapazitäten wollen wir die Möglichkeit vorsehen, daß durch Investitionen und/oder dem zusätzlichen Einsatz von Personal und Stapelfahrzeugen die Kapazität der Verladestationen in bestimmten Ausbaustufen $s = 1, \dots, 5$, erhöht werden kann. Wir definieren eine Variable v_{es}^* für die gilt:

$$(424.4) \quad v_{es}^u = \begin{cases} 1 & \text{wenn Verladestation } e \text{ bis zur} \\ & \text{Kapazitätsstufe } s \text{ ausgebaut wird} \\ 0 & \text{sonst} \end{cases}$$

$$(424.5) \quad \sum_{s=1}^{\bar{s}_e} v_{es}^u \leq 1 \quad (\text{für alle } e)$$

Wenn weiterhin U_e die verfügbare Kapazität in der Verladestation e ist und U'_s der Kapazitätzzubau in der Ausbaustufe s sowie FU_e die zusätzlichen fixen Kosten für Verladestation e in Ausbaustufe s sind, lassen sich die entscheidungsabhängigen Kosten im Warenumschlag nach Gleichung 424.6 angeben:

$$(424.6) \quad CU = \sum_e \sum_{s=1}^{\bar{s}_e} v_{es}^u \cdot FU_{es}$$

Für die Kapazitätsrestriktionen in den Verladestationen muß gelten:

$$(424.7) \quad \sum_i \sum_j \sum_a \lambda_{ija} \cdot d_{iea}^U + \sum_1 \sum_j \sum_a \lambda_{1ja} \cdot d_{1ea}^U \leq U_e + \sum_{s=1}^{\bar{s}_e} v_{es}^u \cdot U'_{es}$$

(für alle e)

4.2.5. Der Lagerflächenbedarf

Auch in der Lagerhaltung sind den Produktionsverteilungen Grenzen gesetzt, die wir zu beachten haben. Alle Teile, die wir betrachten, werden in Flächenlagern chaotisch gelagert. Das bedeutet, daß für die einzelnen Teile keine Lagerflächen reserviert werden, sondern daß vielmehr jede verfügbare Fläche für jedes Teil genutzt wird. Auf diese Art und Weise kann die Lagerfläche optimal ausgenutzt werden, obwohl eine chaotische Lagerhaltung auf der anderen Seite erhebliche Anforderungen an die Lagerverwaltung stellt. Für unser Modell fassen wir die einzelnen Flächenlager zusammen und bilden drei Lagertypen:

1. Lagerflächen für Preßteile
2. Lagerflächen für Baugruppen
3. Lagerflächen für Ersatzteile

Die verfügbare Lagerfläche für das betrachtete Teilespektrum und für jede Gruppe sei L_g . Hierbei steht $g = 1, \dots, 3$ für die Lager in Ingolstadt und $g = 4, \dots, 6$ für die Lager in Neckarsulm.

Am Standort Ingolstadt ist das externe Lager gleichzusetzen mit dem Preßteilelager, obwohl dort auch vereinzelt Schweißgruppen zwischengelagert werden.

Die Lagermengen der Teile unterscheiden sich grundsätzlich nach der Art und nach dem Ort der Herstellung. So ist bei allen Teilen, die in Losgrößen produziert werden, die Verbrauchsgeschwindigkeit kleiner als die Produktionsgeschwindigkeit, so daß sich hier Lagerbestände auf- und abbauen. Im Gegensatz dazu wird von Baugruppen, die nach dem Fließprinzip hergestellt werden, lediglich ein Sicherheitsbestand im Lager gehalten, in einigen Fällen wird gänzlich auf eine Lagerhaltung verzichtet.

Wird ein Teil nur an einem Standort produziert, so ruft der

jeweils andere Standort die Teile - je nach Bedarf - aus dem Lager des Produktionsstandortes oder direkt aus der Fertigung ab. Wie die Bestandsaufnahmen in der Praxis zeigen, werden jedoch im Empfängerwerk Sicherheitsbestände gehalten, die wesentlich höher sind als die Sicherheitsbestände des Produktionswerkes.

Unter Berücksichtigung dieser Zusammenhänge lassen sich durchschnittliche Lagerbestände für jedes Teil abschätzen (vgl. Kap. 5). Ist die Lagermenge errechnet, läßt sich der Lagerflächenbedarf aus der Grundfläche des Transportbehalters, der Stapelhöhe und dem Packlos eines Teils ermitteln. Der so errechnete Nettobedarf muß dann noch mit entsprechenden Zuschlägen für Verkehrsflächen im Lager versehen werden, um den Lagerflächenbruttobedarf zu erhalten. Demzufolge unterscheiden wir für jedes Teil i und jedes Lager g einen Lagerflächenbedarfsfaktor $f^p_{i,}$ für den Lagerflächenbedarf am Produktionsstandort sowie einen Lagerflächenbedarfsfaktor $f^l_{i,}$ für Transportteile.

Auch im Lagerbereich wollen wir die Möglichkeit, die Kapazität in bestimmten Ausbaustufen zu erweitern, vorsehen. Wir definieren die Variable $v^L_{s,}$, für die gilt:

$$(425.1) \quad v^L_{sg} = \begin{cases} 1 & \text{wenn für Lager } g \\ & \text{Ausbaustufe } s \text{ realisiert wird} \\ 0 & \text{sonst} \end{cases}$$

$$(425.2) \quad \sum_{s=1}^{\bar{s}_g} v^L_{sg} = 1 \quad (\text{für alle } g = 1, \dots, 6)$$

Ferner bedeute L_g die verfügbare Lagerfläche im Lager g , L'_{sg} der Lagerflächenzugewinn in der Ausbaustufe $s=1, \dots, \bar{s}_g$ und FL_{sg} die fixen Kosten der Ausbaustufe s für Lager g . Daraus folgt für die entscheidungsabhängigen Kosten im Lagerbereich CL :

$$(425.3) \quad CL = \sum_g \sum_{s=1}^{\bar{s}_g} v_{sg}^L \cdot FL_{sg}$$

Dabei sind folgende Kapazitätsrestriktionen zu beachten:

$$(425.4) \quad \sum_i \sum_j \sum_p x_{ijp}^F \cdot f_{ig}^P + \sum_i \sum_j \sum_a \lambda_{ija} \cdot f_{ig}^T \\ \leq L_g + \sum_{s=1}^{\bar{s}_g} v_{sg}^L \cdot L'_{sg}$$

(für $g = 1, 2, 4, 5$)

$$(425.5) \quad \sum_i \sum_j \sum_p x_{ijp}^E \cdot f_{ig}^P \leq L_g + \sum_s v_{sg}^L \cdot L'_{sg}$$

(für $g = 3, 6$)

4.2.6. Der Transportbehälterbedarf

Wir unterscheiden hier grundsätzlich zwei Arten von Transportbehältern: Universalbehälter und Spezialbehälter.

Universalbehälter werden aus Transportbehältnissen für mehrere Teile und insbesondere für Kleinteile benutzt. Spezialbehälter sind erforderlich, wenn ein Teil aufgrund seiner Größe und/oder konstruktiven Beschaffenheit nicht in einen Universalbehälter paßt bzw. besonders gegen Transportschäden geschützt werden muß (z.B. bei Sichtteilen der Karosserie).

Der Transportbehälterbedarf hängt vom Fassungsvermögen des Behälters und von der Menge der in den Lagern und auf den Transportwegen gebundenen Teile ab. Bei allen Teilen, die in Losgrößen produziert werden, muß darüber hinaus berücksichtigt werden, daß mindestens soviele freie Behälter zur Verfügung stehen, wie zum Transport eines Loses benötigt werden (vgl. dazu Kap. 5).

Analog zu den Lagerflächenbedarfsfaktoren definieren wir auch die Behälterbedarfsfaktoren. Es sei δ_{ijl}^F der Bedarf an Behältern l für den Transport von Teil i , wenn es am Standort j für den Fertigungsbedarf produziert wird. Analog definieren wir für Ersatzteile den Behälterbedarfsfaktor δ_{ijl}^E .

Weiterhin sei δ'_{ijl} der Behälterbedarf von Transportmengen und δ''_{ijl} der Behälterbedarf, der sich aus dem Leerbehältertransport ergibt. Die Unterscheidung der letzten beiden Bedarfsfaktoren nach Transportmitteln a ist notwendig, da der Schienentransport langsamer vonstatten geht als der LKW-Transport und somit mehr Teile und Behälter auf der Strecke gebunden sind.

Wenn wir nun noch für jeden Behältertypen l die verfügbare Behälterzahl V_l , die neu zu beschaffenen Behälter N_l und die fixen Kosten für neu zu beschaffene Behälter FB_l angeben, lassen sich die Kosten für neue Behälter und die Kapazitätsrestriktionen wie folgt formulieren:

$$(426.1) \quad CB = \sum_l N_l \cdot FB_l$$

$$N_l \geq 0 \quad \text{und ganzzahlig}$$

$$\begin{aligned}
 (4.26.2) \quad & \sum_i \sum_j \sum_P x_{ijP}^F \cdot \delta_{ijl}^F + \\
 & + \sum_i \sum_j \sum_P x_{ijP}^E \cdot \delta_{ijl}^E + \\
 & + \sum_i \sum_j \sum_a \lambda_{ija} \cdot \delta_{ijla}^T + \\
 & + \sum_j \sum_a \lambda'_{lja} \cdot \delta_{lja}^{T'} \leq v_l + N_l \quad (\text{für alle } l)
 \end{aligned}$$

4.2.7. Kosten der Kapitalbindung umlaufender Teile

Die Zinskosten auf das durch Investitionen gebundene Kapital erfassen wir bei den fixen Kosten für Investitionen. Es verbleiben noch die Zinskosten für die durchschnittlich im Lager- und Transportsystem gebundenen Teile, die wir ebenfalls in unser Modell aufnehmen wollen. Die dafür notwendigen Mengenberechnungen wurden bereits bei der Berechnung des Lagerflächen- und Transportbehälterbedarfes durchgeführt, so daß wir hier darauf nicht mehr näher einzugehen brauchen und im weiteren auf das Kapitel 5 verweisen.

Im folgenden sei β_{ij}^F der Bindungsfaktor, der uns angibt, wieviel Teile i durchschnittlich am Standort j bezogen auf eine Ausbringungseinheit im Lager- und Transportsystem gebunden sind. Analog definieren wir β_{ij}^E und β_{ija}^T für die Ersatzteilproduktion und für die Transportmengen im Transportmittel a .

Um die Teile bewerten zu können, benötigen wir die variablen Herstellungskosten HV_i . Da wir in unserem Modell nicht jedes

Teil bis zur letzten Schraube erfassen, greifen wir hinsichtlich der Fertigungszeiten und Materialkosten auf die im Unternehmen verfügbaren Werte zurück. Die variablen Maschinenkosten erfassen wir dabei zusammen mit den Materialkosten der Einzelteile. Die in einem Teil enthaltenen kumulierten Fertigungszeiten bewerten wir mit dem durchschnittlichen Personalkostensatz beider Standorte. Wenn weiterhin r der Zinssatz ist, läßt sich der Kapitalkostenkoeffizient c_i^k für Teil i wie folgt angeben:

$$(427.1) \quad c_i^k = HV_i \cdot r \quad (\text{für alle } i)$$

Die Kapitalbindungskosten für die umlaufenden Teile können wir demnach wie folgt zusammenfassen:

$$(427.2) \quad CK = \sum_i \sum_j \sum_p x_{ijp}^F \cdot \beta_{ij}^F \cdot c_i^k + \\ + \sum_i \sum_j \sum_p x_{ijp}^E \cdot \beta_{ij}^E \cdot c_i^k + \\ + \sum_i \sum_j \sum_a \lambda_{ija} \cdot \beta_{ija}^T \cdot c_i^k$$

4.2.8. Der Personalbedarf

Wie wir bereits in Kapitel 2 festgestellt haben, sind der Personalbedarf und insbesondere die Verteilung des Personals auf die beiden Standorte ein Entscheidungskriterium für die Standortverteilung der Produktion. Der Personalbedarf in der

Produktion läßt sich anhand der Fertigungszeiten mit hinreichender Genauigkeit ermitteln.

Wenn wir für jeden Standort die Fertigungszeiten/Tag durch die Arbeitszeit eines Werkers pro Tag dividieren, erhalten wir den Nettopersonalbedarf. Diesem Nettobedarf muß nun erfahrungsgemäß noch ein bestimmter Prozentsatz zugeschlagen werden, in dem sich z. B. krankheitsbedingte Personalausfälle niederschlagen. Es läßt sich demzufolge ein Faktor w_j ermitteln, der uns den Personalanteil pro Fertigungsminute am Standort j angibt.

Darüber hinaus sind auch standortabhängige Personalveränderungen in produktionsnahen Bereichen zu berücksichtigen. So kann die Entscheidung, eine neue Produktionsstätte an einem Standort einzurichten, bzw. im gegenteiligen Falle, die Produktion eines Teils auf den anderen Standort zu verlagern, personelle Konsequenzen in Planungs- und Kontrollbereichen bewirken. Wir definieren DP_{ij} als den zusätzlichen Personalbedarf für den Fall, daß Teil i am Standort j produziert wird und DP'_{ij} für das abbaufähige Personal, wenn Teil i am Standort j nicht mehr produziert wird.

Nun sind wir in der Lage, den Personalbedarf am Standort j zu berechnen und schreiben wie folgt:

$$(428.1) \quad PB_j = \sum_i \sum_P \left(x_{ijP}^F + x_{ijP}^E \right) t_{ijP} \cdot w_j$$

Fertigungspersonal

$$+ \sum_i \left(y_{ij} \cdot DP_{ij} - DP'_{ij} + y_{ij} \cdot DP'_j \right)$$

Personal in fertigungsnahen Bereichen

Obwohl wir den standortspezifischen Personalbedarf zu einem Entscheidungskriterium erhoben haben, kann es aus betriebspolitischen Gründen für das Unternehmen durchaus wünschenswert sein, Personalveränderungen in bestimmten Grenzen zu halten. Dabei geht es in unserem Falle weniger um die Eingrenzung des Personalbedarfs insgesamt – was gleichbedeutend damit wäre, daß z.B. wirtschaftlich sinnvolle Rationalisierungsinvestitionen u.U. nicht durchgeführt werden könnten, und das hat gerade die jüngste Vergangenheit widerlegt – sondern vielmehr um die Verteilung der Arbeit auf die beiden Standorte des Unternehmens. Eine dementsprechende zielorientierte Restriktion haben wir mit den Gleichungen 428.2. und 428.3. formuliert:

$$(428.2) \quad PB_1 - PB_2 \leq DPB$$

$$(428.3) \quad PB_2 - PB_1 \leq DPB$$

Hierbei ist der Wert DPB die maximal zulässige Differenz für den Personaleinsatz an beiden Standorten. Auch eine der beiden Restriktionen alleine ist denkbar, z. B. dann, wenn ein Standort bevorzugt wird.

4.2.9. Der Investitionsbedarf

Der Investitionsbedarf ist für uns ein wesentliches Entscheidungskriterium. In Gleichung 429.1. werden die Anschaffungskosten für Produktionsanlagen AP, Transportmittel AT, Umschlagskapazitäten AU, Lagerkapazitäten AL, und Transportbehälter AB, zusammengefaßt. Auch hier kann der Entscheidungsträger für den gesamten Investitionsbedarf BI eine Zielvorgabe konstituieren, die nicht überschritten werden darf.

$$(429.1) \quad BI = \sum_j \sum_p z_{jp} \cdot AP_p +$$

Investitionen für Produktionsanlagen

$$+ \sum_a \epsilon_a \cdot AT_a$$

Investitionen für Transportmittel

$$+ \sum_e \sum_{s=1}^{\bar{s}_e} v_{es}^u \cdot AU_{es}$$

Investitionen für Umschlagskapazitäten

$$+ \sum_g \sum_{s=1}^{\bar{s}_g} v_{gs}^L \cdot AL_{gs}$$

Investitionen für Lagerkapazitäten

$$+ \sum_l N_l \cdot AB_l$$

Investitionen für Transportbehälter

$$(429.2) \quad BI \leq BIO$$

Es besteht dabei jedoch immer die Gefahr, daß besonders interessante Alternativen von vornherein ausgeschlossen und damit überhaupt nicht zur Diskussion gestellt werden.

4.3. Zusammenfassung der Modellteile

Durch Zusammenfassung der im Kapitel 4.2. dargestellten Kostenfunktionen erhalten wir die Zielfunktion C, die es zu minimieren gilt:

$$\text{Produktionskosten}$$

$$\text{Min } C = \sum_i \sum_j \sum_p \left(x_{ijp}^F + x_{ijp}^E \right) \cdot v_{ijp} + \sum_j \sum_p z_{jp} \cdot FP_{jp}$$

$$\sum_{i=i'+1}^n \left(y_{i1} + y_{i2} - 1 \right) \cdot FW_i$$

Standortabhängige Kosten

$$\sum_i \sum_j \left(y_{ij} \cdot FZ_{ij} - FA_{ij} + y_{ij} \cdot FA_{ij} \right)$$

Transportkosten im Zwischenwerksverkehr

$$+ \sum_j \sum_i \sum_a \lambda_{ija} \cdot c_{ia}^T + \sum_j \sum_l \sum_a \lambda'_{jla} \cdot c_{la}^T +$$

$$+ \sum_a \epsilon_a \cdot FT_a$$

Transportkosten zum externen Lager

$$\begin{aligned}
 & + \sum_i \sum_p x_{i1p}^F \cdot c_{i1}^{TL} + \sum_i \left(\sum_p x_{i1p}^F - \sum_a \lambda_{i2a} \right) \cdot c_{i1}^{TL} \\
 & + \sum_i \sum_a \lambda_{i1a} \cdot c_{i1}^{TL}
 \end{aligned}$$

Kosten der Kapitalbindung

$$\begin{aligned}
 & + \sum_i \sum_j \sum_p x_{ijp}^F \cdot \beta_{ij}^F \cdot c_i^K + \\
 & + \sum_i \sum_j \sum_p x_{ijp}^E \cdot \beta_{ij}^E \cdot c_i^K \\
 & + \sum_i \sum_j \sum_a \lambda_{ija} \cdot \beta_{ija}^T \cdot c_i^K
 \end{aligned}$$

Fixe Kosten der Umschlagskapazitäten

$$+ \sum_e \sum_{s=1}^{\bar{s}_e} v_{es}^U \cdot FU_{es}$$

Fixe Kosten der Lagerkapazitäten

$$+ \sum_g \sum_{s=1}^{\bar{s}_g} v_{gs}^L \cdot FL_{gs}$$

Fixe Kosten für Transportbehälter

$$+ \sum_l N_l \cdot FB_l$$

Dabei sind, sofern wir sie formulieren wollen, folgende zielorientierte Restriktionen zu beachten:

Zielorientierte Restriktionen

$$\text{Personalrestriktionen:} \quad PB_1 - PB_2 \leq DPB$$

$$PB_2 - PB_1 \leq DPB$$

$$\text{Budgetrestriktion} \quad BI \leq BIO$$

Weiterhin müssen für unsere Entscheidungsvariablen folgende formale Bedingungen eingehalten werden:

Formale Restriktionen

$$x_{ijp}^E, x_{ijp}^F \geq 0 \quad \text{für alle } i, j, p$$

$$\lambda_{ija} \geq 0 \quad \text{für alle } i, j, a$$

$$\lambda'_{ija} \geq 0 \quad \text{für alle } i, j, a$$

$$z_{jp} = 0,1 \quad \text{für alle } j, p$$

$$v_{es}^U = 0,1 \quad \text{für alle } e \text{ und } s=1,\dots,\bar{s}_e$$

$$v_{gs}^L = 0,1 \quad \text{für alle } g \text{ und } s=1,\dots,\bar{s}_g$$

$$\varepsilon_a \geq 0 \quad \text{und ganzzahlig für alle } a$$

$$N_l \geq 0 \quad \text{und ganzzahlig für alle } l$$

Darüber hinaus sind die in den Abschnitten 4.2.1. bis 4.2.6. formulierten Kapazitäts- und Bedarfsrestriktionen einzuhalten.

4.4. Die Lösungsheuristik und ihre Programmierung

Zur Lösung unseres Modells wurde ein On-Line-Programm in der Programmiersprache COBOL entwickelt und bei der Firma Audi in Ingolstadt implementiert. Das Programm ist auf den 2-Standorte-Fall zugeschnitten. Mit der gegebenen Speicherkapazität kann das Programm Verteilungen für maximal 250 Teile berechnen. Eine Erhöhung des Teilespektrums ist problemlos möglich, sofern für das Programm eine entsprechende Speicherkapazität zur Verfügung gestellt wird.

Auf einige Ansätze, die sich mit der Lösung ähnlicher Problemstellungen befassen, haben wir bereits im Literaturteil hingewiesen. Dabei gilt nach wie vor, daß exakte Lösungsverfahren für gemischt-ganzzahlige Modelle auf relativ kleine Probleme beschränkt sind.

In unserem Modell ergeben sich für ein Problem von durchschnittlicher Größe mit 100 Teilen und 100 Anlagenalternativen p bereits 200 ganzzahlige Variablen z_{ij} und 200 ganzzahlige Variablen y_{ij} . Exakte Lösungsverfahren scheiden damit für uns ganz offensichtlich aus.

Ähnlich, wie die exakten Lösungsalgorithmen bauen auch viele heuristische Ansätze auf das Branch-and-Bound-Verfahren auf. Es wird dabei versucht, die Zahl der zu untersuchenden Knoten des Entscheidungsbaumes möglichst klein zu halten. Als Beispiel sei die "add"-Heuristik von Kuehn und Hamburger (1963) genannt, bei der die ganzzahligen Variablen Schritt für Schritt größer Null gesetzt werden, bis die absoluten Kosten ansteigen. Das Gegenstück dazu ist die von Feldman, Lehrer und Ray (1966) entwickelte "drop"-Heuristik, die den umgekehrten Weg geht und die ganzzahligen Variablen nach und nach gleich Null setzt, so lange, bis die gesamten Kosten nicht mehr vermindert werden können. In beiden Fällen wird praktisch nur ein

"guter Zweig" des Entscheidungsbaumes verfolgt.

Im Gegensatz zu diesen Ansätzen schlägt Jacob (1976) vor, zunächst die Ganzzahligkeitsrestriktionen ganz aufzuheben und das rein lineare Problem zu lösen. Anschließend können die Ganzzahligkeitsbedingungen wieder eingeführt und verschiedene ganzzahlige Kombinationen der Variablen getestet werden. Das optimale Ergebnis der nicht ganzzahligen Lösung kann dabei als Maßstab für die Güte der ganzzahligen Lösungen dienen.

In der Praxis finden wir auch Fälle, bei denen die Zahl der ganzzahligen Variablen dadurch eingeschränkt wird, daß gut erscheinende Konstellationen direkt durch Überlegung festgelegt werden (vgl. Drayer und Seabury (1975) sowie die französische Ölstudie in Hanssmann (1974)).

Lösung des Modells mit Hilfe der Dialogmethode

Auch wir wollen unser Problem dadurch lösen, daß wir dem Planer die Möglichkeit geben, im Dialog mit dem Modell, gut erscheinende Konstellationen der ganzzahligen Variablen festzulegen. Wir geben ihm dabei Informationen an die Hand, die es ihm erleichtern, eine gute Verteilung zu ermitteln. So kann er am Bildschirm die Kosten einer Verteilung, gegliedert nach Kostenarten, den Personal- und Investitionsmittelbedarf sowie die Auslastung der Kapazitäten für jede Verteilungsalternative analysieren. Auf diese Weise kann die Erfahrung des Disponenten bei der Entwicklung einer guten Lösung genutzt werden.

Da wir unser Problem auf den 2-Standorte-Fall beschränken können, sind wir in der Lage, einige vereinfachende Annahmen einzuführen:

1. Wir gehen davon aus, daß auch Einzelteile, die auf Universalmaschinen gefertigt werden, bestimmten Anlagentypen eindeutig zugeordnet werden können.

2. Die Produktionsmengenverteilung ist dann mit der Wahl des Produktionsstandortes weitestgehend bestimmt.

Die Plausibilität der ersten Vereinfachung, die wir im Hinblick auf die Pressteileproduktion getroffen haben, ergibt sich aus der Praxis. Vor allem Großpreßteile - und gerade diese Preßteile sind Gegenstand unserer Untersuchung - können nur auf bestimmten Anlagentypen produziert werden. Das sind in der Regel moderne Pressenstraßen, die mit automatischen Teilezu- und -abführungssystemen (Feedermechanisierung) versehen sind. Aus der Größe des Teils und aus der Zahl der Maschinen, die der Produktionsprozeß verlangt, sind diese Teile an jedem Produktionsstandort ganz bestimmten Anlagentypen zugeordnet. Gleiches gilt für Preßteile, die auf Kurzgreiferstraßen hergestellt werden. Hier sind die Teile aufgrund der speziellen Fertigungstechnik eindeutig einem Anlagentypen zugeordnet. Eine Ausnahme bilden Teile, die auf den älteren Handpressenstraßen produziert werden. Da dies fast ausnahmslos Kleinteile sind, spielen sie in unserem Falle eine untergeordnete Rolle. Die Möglichkeit des Kapazitätsausgleichs zwischen einzelnen Pressenstraßen kann anhand der Auslastungsanalyse als mögliche Anpassungsmaßnahme bei Kapazitätsengpässen berücksichtigt werden.

Bei allen Baugruppen, die wir betrachten, stellt sich dieses Problem nicht, da diese Teile auf speziellen Fertigungsanlagen hergestellt werden.

Untersuchen wir nun die Mengenverteilungen für die verschiedenen Anlagenkonstellationen.

Wie wir bereits in Kap. 2 festgestellt haben, kann bis zur Kapazitätsgrenze von konstanten Stückkosten ausgegangen werden. Damit lassen sich folgende Regeln formulieren:

a) Für den Fall, daß für die Produktion eines Teiles nur ein Standort gewählt wird, ist das Mengenproblem gelöst.

- b) Für den Fall, daß beide Standorte das gleiche Teil produzieren, wird jeder Standort soviel produzieren, um den standortspezifischen Eigenbedarf zu decken. Nur wenn die Kapazitäten dazu nicht ausreichen, wird die Fehlmenge entweder vom jeweils anderen Standort mitproduziert und zugeliefert, oder es wird die Kapazität durch Investitionen erhöht. Da wir davon ausgehen können, daß die neue Kapazität mit günstigeren variablen Kosten arbeitet, wird in diesem Falle die neue Kapazität bis zur Kapazitätsgrenze ausgelastet und der verbleibende Restbedarf mit der alten Kapazität produziert.
- c) Soll ein Teil an beiden Standorten produziert werden und ist gleichzeitig aber die Nachfrage nur an einem Standort konzentriert, so übernimmt der jeweils zweite Standort eine Pufferfunktion für die Fehlkapazität des ersten Standortes. Auch der umgekehrte Fall ist dabei darstellbar, wenn z.B. die Standortunterschiede in den variablen Produktionskosten so groß sind, daß sogar die Transportkosten überkompensiert werden. Es wird dabei der Standort 2 gewählt und bis zur Kapazitätsgrenze ausgelastet. Die Fehlkapazität kann dann durch Zuwählen des Standortes 2 abgedeckt werden.
- d) Nun müssen wir noch entscheiden, an welchem Standort der Ersatzteilbedarf produziert wird. Da Ersatzteile an dem Standort gelagert werden, an dem sie auch hergestellt wurden, ist der Standort mit den geringeren variablen Kosten vorzuziehen. Sofern auch hier Kapazitätsrestriktionen zum Tragen kommen, kann wiederum die Fehlmenge dem anderen Standort zugeschlagen oder die Kapazität angepaßt werden.

Der Programmablauf läßt sich demnach wie folgt skizzieren:

1. Auswahl des relevanten Teilespektrums

Hier werden von den gespeicherten Teilepositionen diejenigen Teile ausgewählt, die in die Produktionsverteilung eingehen sollen. Über einen Algorithmus wird dabei ein

Programm sichergestellt, daß im Teilestammbaum fehlende Positionen erkannt und die notwendigen Modifikationen durchgeführt werden, so daß sich ein neuer reduzierter Stammbaum ergibt.

2. Festlegung der Modellumwelt

Hier werden die Verteilung der Endprodukte, der Kalkulationszins, die Trendfaktoren für Lohn- und Transportkosten sowie die verfügbaren Kapazitäten festgelegt.

3. Festlegung der Produktionsstandorte

Mit der Wahl des Produktionsstandortes wird auch gleichzeitig die Produktionsmengenverteilung auf die oben beschriebene Weise bestimmt und über Investitionen entschieden.

4. Optimierung der Transportmengenzuordnung

Nachdem Schritt 3 durchgeführt wurde, können die Transportströme berechnet werden. Die Zuordnung der Transportmengen auf die verfügbaren Transportmittel wird mit Hilfe der Simplex-Methode in einem Submodell durchgeführt. Als Restriktionen werden dabei die verfügbaren Kapazitäten der Verladestationen und die beschränkt verfügbaren Transportmittel beachtet.

5. Überprüfung und Anpassung der allgemeinen Kapazitäten

Zu den allgemeinen Kapazitäten zählen wir die Kapazitäten der Pressenstraßen, die verfügbaren Lagerflächen und Behälter. In diesem Modellteil wird überprüft, inwieweit die hier gesetzten Restriktionen eingehalten werden. Werden die Kapazitäten überschritten, so sind die entsprechenden Anpassungsmaßnahmen durchzuführen.

6. Ergebnisdarstellung und Analyse

Nach Berechnung und Zusammenfassung der Ergebnisse, können diese am Bildschirm aufgerufen und analysiert werden. Eine intensive Ergebnisanalyse ist die Voraussetzung für die

Entwicklung guter Lösungen. Anhand differenzierter Kosteninformationen, des Investitions- und Personalbedarfes, der Transportmengenverteilung sowie der Auslastung der Kapazitäten müssen Systemschwächen erkannt und neue Verteilungsalternativen entwickelt werden.

7. Veränderung der Umweltparameter

Zur Gewinnung weiterer Informationen kann nun die Modellumwelt verändert und das Ergebnis im Lichte unterschiedlicher Umweltkonstellationen beurteilt werden. Neben den Trendfaktoren für die Lohn- und Transportkostensätze, dem Kalkulationszins und dem Endproduktbedarf können dabei auch die Restriktionen des Transportmodells verändert und die Kapazitätsanpassungskosten eingegeben werden.

8. Änderung der Produktionsverteilung

Nach erfolgter Ergebnisanalyse wird nun versucht, die gewonnenen Ergebnisse in eine bessere Verteilung umzusetzen. Wir beginnen wieder mit Schritt 3 und durchlaufen die Prozedur von neuem, so lange, bis eine gute Lösung gefunden wurde. Am Ende eines Programmlaufes werden die 3 besten Verteilungsalternativen in je 3 alternativen Umweltkonstellationen zusammen mit den zugehörigen Kostenergebnissen in einer erweiterten Ergebnistabelle ausgedruckt (der Ausdruck kann auch bereits nach jeder einzelnen Verteilung erfolgen, soweit dies für die weitere Analyse notwendig ist).

Mit dem dargestellten Lösungsverfahren wird quasi ein sukzessiver Entscheidungsprozeß simuliert. Wir versuchen dabei, die Schwächen einer nicht simultanen Festlegung der Entscheidungsvariablen dadurch auszugleichen, indem in einem iterativen Prozeß die Entscheidungsvariablen solange verändert werden, bis eine gute Lösung gefunden worden ist.

Begründung des angewandten Verfahrens

In der Literatur zur Unternehmensforschung findet die Möglichkeit, Entscheidungsprobleme im Wege einer Mensch-Maschinen-Kommunikation zu lösen, mehr und mehr Beachtung. Den Nutzen, der aus dieser Kommunikation gewonnen werden kann, beschreiben Griese und Mühlbacher (1976, S. 315 f) wie folgt:

"Die Vorteile des Menschen liegen in seiner Fähigkeit zu schöpferischem Denken sowie in seiner Überlegenheit beim Lernen, beim Erkennen von Strukturen und wenn es gilt, relevante Informationen durch Assoziation aufzufinden. Der Rechner erweist sich als vorteilhaft durch seine Geschwindigkeit bei der Durchführung logischer und arithmetischer Operationen, durch die Verarbeitungssicherheit, durch die große Speicherkapazität sowie durch die schnelle und benutzerfreundliche Ausgabe."

Die Autoren sehen einen Anwendungsbereich der Dialogmethode bei Optimierungsmodellen, die nur noch mit einem nicht vertretbaren Rechenaufwand gelöst werden können. "Hier kann der Mensch durch die Auswahl einer Ausgangslösung und Bewertung von Zwischenlösungen in einem MMK-System den Rechenaufwand wesentlich verringern." Auch bei Entscheidungsprozessen, die schlecht strukturiert sind und in denen die Entscheidungen weitgehend intuitiv gefällt werden, sehen die Autoren einen Anwendungsbereich. Der Dialog zwischen dem Menschen und der Maschine wird dabei als ein Spezialfall der Synchronisation betrachtet, wobei die Besonderheit des Prozesses in einem ständigen Wechsel der Führung zu sehen ist (vgl. dazu auch Mertens und Griese, 1972; Mertens u. a., 1975). Noltemeier (1976) sieht weitere Vorteile in der Anpassungsfähigkeit und Benutzerfreundlichkeit sowie in den komfortablen Kommunikationsmöglichkeiten solcher Systeme, die deshalb beim Entscheidungsträger eine erhöhte Akzeptanz erwarten lassen. Und Scheer stellt vor allem die Vorteile, das menschliche Erfahrungswissen in den Dialog einbringen zu können, heraus (Scheer, 1980).

Als nachteilig wird empfunden, daß für den Fall, wenn mehrere Entscheidungsträger kooperiert planen müssen, eine Ziel- und Aktionskompatibilität nicht gewährleistet ist (Noltemeier, 1976). Als Ausweg wird eine Aufzeichnung des Dialogverkehrs vorgeschlagen, um ihn einer kritischen Beobachtung zugänglich zu machen.

Die Objektivität der Ergebnisse aus der Anwendung von Dialogmodellen wird jedoch im wesentlichen davon abhängen, wie die Spielregeln im Dialog zwischen Mensch und Maschine festgelegt werden. Und dieser Punkt kann immer nur anhand der konkreten Problemstellung entschieden werden.

In unserem Fall sehen wir einen wesentlichen Vorteil der Dialogmethode darin, daß unter Einbeziehung der Erfahrung des Anwenders ein kreativer Prozeß in Gang gebracht wird, der die Entwicklung von Entscheidungsalternativen fördern kann.

Lösungswege

Bei der Anwendung des Verfahrens stellt sich auch die Frage, mit welcher Verteilung der Prozeß begonnen werden soll. Wählt man eine systematische Vorgehensweise, so konnte man in Anlehnung an die "Add"-Heuristik von Kuehn und Hamburger (1963) beispielsweise von einer Verteilung ausgehen, bei der für jedes Teil jeweils nur ein Produktionsstandort gewählt wurde und versuchen, durch das Zuwählen weiterer Standorte, das Ergebnis zu verbessern. Auch die "drop"-Heuristik von Feldman, Lehrer und Ray (1966) wäre in ähnlicher Weise auf das Problem übertragbar, indem man nun als erste Verteilung alle Standorte auswählt und nach und nach einzelne Standorte wieder ausscheidet.

Wir wollen jedoch einen anderen Weg einschlagen und uns die spezielle Struktur des Problems, die sich aus der mehrstufigen Fertigung ergibt, zunutze machen. Dabei soll zunächst versucht werden, für die einzelnen Baugruppen gute Verteilungen zu

finden ohne daß dabei allgemeine Restriktionen beachtet werden. Mit Hilfe der so gewonnenen Ergebnisse wird nun eine erste Gesamtalternative gebildet. Aufgrund der für das Gesamtsystem geltenden Restriktionen wird in aller Regel das Ergebnis dieser ersten Alternative nicht mit der Summe der Ergebnisse aller Baugruppenverteilungen identisch sein, und man kann nun versuchen, auf die beschriebene Weise das Ergebnis zu verbessern.

KAP. 5 DATENBESCHAFFUNG FÜR EIN BESTIMMTES MODELL

Anfang 1983 stellte das Management der Firma Audi Überlegungen an, die Produktion des stückzahlstärkeren Mittelklassewagens vom Typ B auf beide Fertigungsstandorte zu verteilen und statt dessen, den stückzahlschwächeren Fahrzeugtypen A auf den Standort Ingolstadt zu konzentrieren. Durch diesen Wechsel in der Standortverteilung der Fahrzeugtypen wollte man eine größere Flexibilität bei der Produktion des Mittelklassefahrzeuges erreichen. Die Verlagerung sollte noch mit der ca. bis Ende 1986 laufenden Serie begonnen werden. Von der geplanten Produktion von 775 Fahrzeugen pro Tag sollte das Werk Neckarsulm 445 und das Werk Ingolstadt 330 Fahrzeuge in der Endmontage produzieren. Für die transportfähigen Einzelteile und Zwischenprodukte dieses Fahrzeugtypen ergab sich somit ein Entscheidungsproblem bei der Wahl der Produktionsstandorte, das wir zum Anlaß nahmen, unser Modell erstmals einzusetzen.

5.1. Probleme der Datenbeschaffung

1. Auswahl des relevanten Teilespektrums

Bei der Vielzahl der Teile, die das Unternehmen produziert, lag es auf der Hand, daß wir unsere Untersuchung auf solche Teile konzentrieren mußten, für die das typische Verbundfertigungsproblem der konkurrierenden Fertigungs- und Transportkosten besonders in Erscheinung tritt. Alle Kleinteile mit geringen Produktions- und Transportkosten scheiden aus der Betrachtung damit aus, da für sie Standortunterschiede kaum zum Tragen kommen. Hingegen sind die fertigungszeitintensiven Baugruppen im Karosserierohrbau und in der Montage bei unserer Untersuchung von besonderem Interesse. Gleiches gilt auch für große und mittelgroße Preßteile. Wir haben in Abstimmung mit der Produktionsplanung für unsere Untersuchung 94 Baugruppen

und Einzelteile vorwiegend aus dem Karosseriebau ausgewählt. Als Indikator für die Höhe der Produktionskosten wurde dabei die Fertigungszeit, als Indikator für die Höhe der Transportkosten das Packlos ausgewählt. Dementsprechend sind bei allen Baugruppen, die wir betrachten, die Fertigungszeiten größer als eine Minute pro Teil und die Packlose ≤ 140 Stück pro Behälter. Bei Preßteilen sind in wenigen Fällen die Packlose größer.

2. Die verfügbaren Kapazitäten

Während die Kapazitäten der teilespezifischen Fertigungsanlagen eindeutig bestimmt sind und durch die Fertigungsstückzahlen gemessen werden können, müssen wir für Kapazitäten, die von mehreren Teilen beansprucht werden, denjenigen Anteil ermitteln, der für unser Teilespektrum verfügbar ist. Das gilt für die Universalmaschinen im Preßwerk, wie auch für alle Verladestationen, Läger, Transportmittel und Universalbehälter. Dabei müssen auch Kapazitätsveränderungen berücksichtigt werden, die sich aus der Verlagerung der Produktion für den Fahrzeugtypen A von Neckarsulm nach Ingolstadt ergeben.

3. Investitionen und technischer Fortschritt

Die Kosten und Leistungsdaten für neue Kapazitäten lassen sich mit hinreichender Genauigkeit ermitteln, wenn eine Anlage gleichen oder ähnlichen Typs bereits im Unternehmen installiert ist. Problematisch wird die Datenermittlung aber dann, wenn die neue Kapazität durch den technischen Fortschritt erhebliche Leistungs- und Kostenunterschiede erwarten läßt. In diesem Fall müssen wir uns auf die Angaben von Herstellerfirmen und auf die Schätzungen von Planungsfachleuten verlassen.

Weiterhin müssen wir berücksichtigen, daß Kapazitätserweiterungen auch Umweltveränderungen erforderlich machen können,

die sich u. U. in erheblichen Kosten niederschlagen, wenn z.B. die Werkshalle für eine neue Anlage nicht mehr genügend Platz bietet und bauliche Maßnahmen notwendig werden. Auch hier sind Datenermittlung und Kostenabschätzung u. U. sehr schwierig.

4. Die Nutzungsdauer neuer Kapazitäten

Da wir die Anschaffungskosten neuer Kapazitäten periodisieren und die Kosten für bestimmte Fertigungsanlagen oftmals zweistellige Millionenbeträge erreichen, können Abweichungen von der zugrundegelegten wirtschaftlichen Nutzungsdauer das Kostenergebnis ganz erheblich beeinflussen. Zwar existieren unternehmensinterne Richtwerte für bestimmte Anlagentypen, doch zeigt die Praxis, daß hier mit erheblichen Abweichungen gerechnet werden muß. Beispielsweise werden Pressen mit einer Nutzungsdauer von 12 Jahren kalkuliert, in den Preßwerken finden wir jedoch Maschinen, die mehr als doppelt so alt sind. Auch hier müssen wir uns deshalb mehr oder minder auf das Urteil von Experten verlassen. Wir halten jedoch fest, daß insbesondere bei investitionsintensiven Standortverteilungen auf die Unsicherheit der wirtschaftlichen Nutzungsdauer von Produktionsanlagen und auf daraus möglicherweise resultierende Ergebnisveränderungen eingegangen werden muß.

5. Versenkte Kosten

Wie wir bereits schon in Kapitel 2 festgestellt haben, sahen wir uns immer wieder vor das Problem gestellt, daß die im Unternehmen verfügbaren Kostenwerte Gemeinkostenteile enthielten, die für unser Problem nicht entscheidungsrelevant sind. Es besteht deshalb die Notwendigkeit, die Kostensätze aufzuschlüsseln und enthaltene Gemeinkostenanteile zu eliminieren.

Ein weiteres Problem ergab sich daraus, wenn bestimmte ent-

scheidungsabhängige Kostenarten über Schlüssel ermittelt wurden, die keine echten Maßgrößen der Kostenverursachung sind. Beispielsweise werden die Reparaturkosten für Pressen mit einem bestimmten Prozentsatz vom Wiederbeschaffungswert der Pressen kalkuliert. Die erheblichen Unterschiede in den Reparaturkosten, die zwischen alten und neuen Anlagen existieren können, kommen in den über branchenüblichen Preissteigerungsraten hochgerechneten Wiederbeschaffungswerten nicht zum Ausdruck. Hier galt es, anhand des verfügbaren statistischen Zahlenmaterials der Anlagenschreibung verursachungsgerechte Kostenwerte zu ermitteln.

5.2. Parameter zur Beschreibung der Kostenfunktionen

1. Variable Kosten der Produktion

Die variablen Kosten der Produktion setzten sich aus den Fertigungspersonalkosten und den Maschinenkosten zusammen. Zur Ermittlung der Fertigungspersonalkosten stehen uns im Unternehmen für jedes Teil die Fertigungszeiten und die Lohn- und Lohnnebenkosten, differenziert nach Kostenstellen zur Verfügung. Zur Berechnung des Maschinenkostensatzes für Preßteile entnehmen wir aus den Fertigungsplänen für jedes Teil die Belegzeiten. Zur Ermittlung der Bewertungssätze greifen wir auf die unternehmensinterne Platzkostenrechnung zurück. Dort werden für jede Maschine variable Maschinenstundensätze ausgewiesen, die folgende Kostenarten enthalten:

- Kosten für elektrische Energie
- Schmiermittelkosten
- Kosten für Druckluft
- Kosten für Wasserverbrauch
- Reparaturkosten
- Raumkosten

Wir bereinigen diesen Kostensatz, indem wir die nicht entscheidungsrelevanten Raumkosten, in denen beispielsweise anteilige Kosten für Heizung und Beleuchtung enthalten sind, eliminieren und den Reparaturkostensatz aus den oben beschriebenen Gründen durch einen Durchschnittswert aus der Anlagenschreibung ersetzen. Dort werden für jede Maschine die Ist-Reparaturkosten systematisch für einen Zeitraum von drei Jahren erfaßt. Da für diesen Zeitraum ein Trend anhand des Zahlenmaterials nicht feststellbar ist, gehen wir vom Durchschnittswert aus.

2. Rüstkosten und Ausschuß

Am Rüstvorgang, den wir bereits im Kapitel 2 beschrieben haben, sind Arbeitskräfte und Fahrzeuge aus verschiedenen Kostenstellen beteiligt (Werker, Elektriker, Maschineneinsteller, Inspekture, Kran- und Staplerfahrer). Da die Arbeitszeiten pro Rüstvorgang für jede Kostenstelle erfaßt werden, sind wir in der Lage, die Personal und Transportmittelkosten eines Rüstvorganges zu berechnen.

Neben den Arbeitszeitkosten wollen wir zu den Rüstkosten auch die Ausschußkosten zählen. Der Ausschuß fällt vor allem in der Anlaufphase, bis die Maschinen exakt eingestellt sind, an. Er hängt dabei weniger vom Alter der Maschinen, als vielmehr von der Produktionstechnik ab. So ist der Ausschuß bei allen älteren Handpressen relativ niedrig, im Vergleich zum Ausschuß der modernen feedermechanisierten Pressenstraßen. Im letzten Falle ergeben sich bei jedem Rüstvorgang Abstimmungsprobleme, die dann auch in höheren Ausschußanteilen resultieren. Im Unternehmen werden die Ausschußquoten für Großpreßteile kontinuierlich erfaßt. Die angegebenen Werte sind jedoch nicht maschinenbezogen, sondern erfassen den gesamten Ausschuß, der sich auf allen bei der Produktion eines Preßteils eingesetzten Anlagen an einem Standort ergibt.

Wir erfassen jedoch die Ausschußkosten zusammen mit den Rüst-

kosten. Dazu bewerten wir die Ausschussteile mit den variablen Produktionskosten und ihrem Materialwert, von dem wir den Verschrottungswert in Abzug bringen.

Bei Montageteilen und Schweißgruppen lohnt eine Erfassung der Ausschußkosten nicht, da die Ausschußanteile hier verschwindend gering sind.

3. Transportkosten

Für den Transport im Zwischenwerksverkehr gelten einheitliche Frachtsätze für beide Werke, die mit der Bundesbahn bzw. mit den Spediteuren für jeden Transportmitteltypen ausgehandelt werden. Die Frachtsätze sind differenziert nach Entfernungen und Gewichtsklassen. Im 2-Standorte-Fall müssen wir dabei jedoch nur die Gewichtsklassen unterscheiden. Wie wir bereits im Kap. 4.2.2 dargestellt haben, werden zu über 90 % die Mindesttransportgewichte nicht überschritten. Wir ordnen deshalb die Teile grundsätzlich der Gewichtsklasse 1 zu und fassen die wenigen Teile mit höheren Ladegewichten in Gewichtsklasse 2 zusammen. Im Schienenverkehr sind die Frachtsätze noch durch Gleisanschlußgebühren, die zusätzlich erhoben werden, zu ergänzen. Für den Audi-eigenen Privat-Waggon rechnen wir auch Wartungs- und Reparaturkosten in den Frachtsatz ein. Dazu dividieren wir die durchschnittlich pro Jahr anfallenden Kosten durch die durchschnittliche Zahl der Fahrten auf der Strecke Ingolstadt-Neckarsulm. Da die Waggonen nur auf dieser Strecke eingesetzt werden und sich dabei nach den gegebenen Fahrplänen richten, können wir die Zahl der Fahrten pro Jahr relativ genau ermitteln. Da weiterhin der Waggon von den Frachtkosten her das günstigste Transportmittel und deshalb auch ständig im Einsatz ist, dürfen wir davon ausgehen, daß die Zahl der Fahrten, die wir als Bezugsgröße für die Schlüsselung der Wartungs- und Reparaturkosten gewählt haben, annähernd richtig ist.

Auch der Frachtsatz des Trans-Waggon ist zu ergänzen. Da dieser Waggontyp bei Bedarf beschränkt angemietet werden kann, müssen wir auch den pro Fahrt anfallenden Mietzins mit in die variablen Transportkosten einbeziehen.

Wie in Kap. 2 beschrieben, wählen wir den Laderaumbedarf eines Teils als Maßgröße der Kostenverursachung. Dazu benötigen wir die Packlose der Transportbehälter und die Ladelose der Transportmittel. Während die Packlose im allgemeinen bekannt sind, sind die Ladelose für jeden Transportbehälter zu berechnen. Sie ergeben sich für jeden Transportmitteltypen aus der Laderaumabmessung sowie aus den Abmessungen und der zulässigen Stapelhöhe des Transportbehälters.

Für den LKW-Transport zwischen dem Werk Ingolstadt und dem externen Lager gelten die Frachttarife des Güternahverkehrs. Die Frachtkosten berechnen sich dabei nach der Fahrzeit. Gewichtsklassen werden nicht unterschieden. Wir legen dabei eine durchschnittliche Fahrzeit von 40 Minuten zwischen dem Werk und dem externen Lager zugrunde. Alle Frachtsätze für den LKW-Transport beziehen sich auf einen bestimmten LKW-Typen (Jumbo-LKW), der von den Spediteuren speziell für den Transport von Automobilteilen (vor allem Karosserieteile) eingesetzt wird.

4. Parameter zur Darstellung der Kapitalbindung umlaufender Teile

Hier ging es uns insbesondere darum, Parameter zu ermitteln, mit deren Hilfe die Teilebindung in den Lagern, im Werksumlauf und auf den Transportwegen dargestellt werden kann. Unser Ziel war es dabei, Faktoren zu ermitteln, die uns angeben, welche durchschnittliche Menge eines Teils in den Lagern und auf den Transportwegen gebunden ist.

Während für den Teileumlauf in den Werken Erfahrungswerte vorhanden waren und sich für die im Zwischenwerksverkehr gebundenen Teile anhand der Fahrpläne diese Faktoren berechnen ließen, war die Erfassung der Teilebindung in den Lagern wesentlich schwieriger. Problematisch war vor allem eine Ermittlung der Sicherheitsbestände, die für den Fall, daß eine Verbundfertigung betrieben wird, im abrufenden Werk gehalten werden. Zur Ermittlung der Bindungsfaktoren griffen wir auf eine Bestandsaufnahme für Verbundfertigungsteile des Fahrzeugtypen A zurück. Dabei konnten wir für 37 Teile in der für uns relevanten Größenordnung die durchschnittlichen Bestände von fünf aufeinanderfolgenden Wochen auswerten. Als wesentliche Einflußgrößen für die Höhe der Bestände konnten die Herstellungskosten (auf Vollkostenbasis) eines Teils und das Packlos des Transportbehälters identifiziert werden. Es zeigte sich, daß die Bestände umso geringer waren, je kleiner das Packlos und je höher der Herstellungskostenwert war. Aufgrund dieses Sachverhaltes bildeten wir vier Klassen, die wir nach den Herstellungskosten (HK) und den Packlosen wie folgt unterschieden haben:

- Klasse I : Packlos ≤ 20 , HK ≥ 100
- Klasse II : Packlos ≤ 20 , HK < 100
- Klasse III : Packlos > 20 , $60 \leq \text{HK} < 100$
- Klasse IV : Packlos > 200 , HK ≤ 10

Die Ergebnisse der Auswertung finden wir in Tabelle 5.1.

Aufgrund der geringen Stichprobenumfänge sind die Werte der Bindungsfaktoren nur begrenzt aussagefähig. Gleichwohl geben sie eine Hilfestellung bei der Abschätzung der Sicherheitsbestände in den Empfängerwerken.

Klasse	Stichproben- umfang	Mittelwert	Standard- abweichung
I	6	2,21	0,68
II	14	3,51	1,24
III	12	4,01	1,96
IV	5	15,42	3,84

Tabelle 5.1: Teile-Bindungsfaktoren im Lager des Empfängerwerkes

Im Produktionswerk werden für viele Baugruppen, die nach dem Fließprinzip hergestellt werden, keine Sicherheitsbestände gehalten. Vor allem bei größeren Schweißgruppen und Zusammenbauten werden die Teile für das Empfängerwerk ohne Zwischenlagerung direkt aus der Produktion zu den Verladestationen gebracht. Lediglich von einigen Baugruppen, bei denen die Produktionsgeschwindigkeit wesentlich höher ist als die Verbrauchsgeschwindigkeit, werden Sicherheitsbestände für durchschnittlich 2 Produktionstage zwischengelagert. Eine umfangreiche Lagerhaltung ist vor allem für Teile erforderlich, die in Losgrößen hergestellt werden. Der durchschnittliche Lagerbestand hängt dabei von der Losgröße und von der Produktions- und Verbrauchsgeschwindigkeit ab. Wenn SB_i , der Bindungsfaktor für den Sicherheitsbestand von Teil i im Lager g ist, CY_i , der für Teil i am Standort j geltende Produktionszyklus ist, wenn weiterhin VP_i , die Produktionsgeschwindigkeit von Teil i auf Anlage p ist, läßt sich die Zahl der durchschnittlich im Lager gebundenen Teile BL_i , nach Gleichung 52.1 berechnen:

$$(52.1) \quad BL_{ig} = \sum_p x_{ijp} \cdot \left(SB_{ig} + 0,5 \cdot (CY_{ij} - \frac{x_{ijp} \cdot CY_{ij}}{VP_{ip}}) \right)$$

(für alle $i = i'+1, \dots, n$
 $g = 1$ und $j = 1$
 $g = 4$ und $j = 2$)

Ein Blick in die Daten zeigt, daß die Zyklen umso kleiner sind je größer die Produktionsgeschwindigkeit ist. Entsprechend ergeben sich für die Lose Produktionszeiten von einem Tag bis in Ausnahmefällen zu maximal drei Tagen. Unter Zugrundelegung dieses Sachverhaltes und unter Hinzurechnung des Bindungsfaktors WU_{ij} für die im Werk umlaufenden Teile lassen sich die Bindungsfaktoren β^F_{ij} für Teil i am Standort j nach Gleichung 52.2 abschätzen.

$$(52.2) \quad \beta^F_{ig} = SB_{ig} + 0,5 (CY_{ij} - 2) + WU_{ij}$$

(für alle $i = i'+1, \dots, n$
 $g = 1$ und $j = 1$
 $g = 4$ und $j = 2$)

Die Bindungsfaktoren β^F_{ij} für alle $i = 1, \dots, i'$ und β^E_{ij} errechnen sich aus dem Bindungsfaktor des Sicherheitsbestandes im entsprechenden Lager g und dem Faktor für den Werksumlauf. Der Bindungsfaktor β^F_{ij} erhält als zusätzliche Komponente einen Faktor, der die Teilebindung für Transportmittel a im Zwischenwerksverkehr angibt.

5. Die Kosten neuer Kapazitäten

Die Kosten für neu beschaffte Anlagen werden bei linearer Abschreibung durch die zugrunde gelegte Nutzungsdauer und durch die Zinsen auf das durchschnittlich gebundene Kapital bestimmt. Auf das Problem, die wirtschaftliche Nutzungsdauer neuer Anlagen richtig einzuschätzen, haben wir bereits hingewiesen. In unserer Fallstudie ist die kürzeste wirtschaftliche Nutzungsdauer mit der Restlaufzeit der alten Serie gleichzusetzen. Sie gilt für alle Anlagen, die noch für die laufende Serie neu beschafft werden, bei denen aber mit großer Sicherheit davon ausgegangen werden kann, daß sie für einen neuen Fahrzeugtypen nicht mehr verwendet werden können. Dazu zählen bestimmte Schweißvorrichtungen im Rohbau, aber auch alle Spezialbehälter, die bestimmten Teilen angepaßt sind. Von der gleichen kurzen Nutzungsdauer ist auch bei Verlagerungsinvestitionen auszugehen, wenn die Anlagen nach Ablauf der Serie verschrottet werden.

Eine Nutzungsdauer von acht Jahren legen wir für alle Anlagen zugrunde, bei denen anzunehmen ist, daß sie sowohl für die laufende als auch für die neue Serie eingesetzt werden können. Für eine weitere Gruppe von teilespezifischen Fertigungsanlagen wird die Nutzungsdauer von der Planung auf 14 Jahre geschätzt, d. h. es wird davon ausgegangen, daß die Anlagen für die laufende Serie und noch für zwei weitere Serien genutzt werden können. Dabei handelt es sich um computergesteuerte Fertigungsanlagen modernster Technik, die den konstruktiven Veränderungen gleicher Baugruppen im Zuge einer neuen Serie angepaßt werden können.

Für Produktionsanlagen, die mehrere Teile von verschiedenen Fahrzeugtypen herstellen können, wird eine Nutzungsdauer von 10 Jahren, für Pressenstraßen eine Nutzungsdauer von 20 Jahren zugrunde gelegt. Die Nutzungsdauer von Privat-Waggonen ist auf 20 Jahre, die Nutzungsdauer von Universal-Transportbehältern auf 10 Jahre festgelegt.

Die Wahl des richtigen Kalkulationszinsfußes ist theoretisch umstritten, da er bei exakter Betrachtung überflüssig ist und in den theoretischen Totalmodellen ausgeschaltet werden kann (vgl. Jakob 1968). Für praktische Entscheidungen, bei denen der Planungshorizont regelmäßig kürzer ist als die Lebensdauer der Unternehmung, kann auf den Kalkulationszinsfuß nicht verzichtet werden. Bei der Wahl des richtigen Kalkulationszinsfußes ist zu berücksichtigen, daß er nicht nur die Kapitalkosten bestimmt, sondern gleichzeitig auch eine Lenkungsfunktion besitzt, wenn z. B. das Unternehmen eine bestimmte Mindestrendite bei Investitionen fordert. Wir wollen in unserem Falle zunächst auf die Kapitalkostenfunktion des Kalkulationszinses abstellen, indem wir einen Zinsfuß von 10 %, der den üblichen Richtwerten entspricht, bei normaler Umweltentwicklung ansetzen. Davon abweichende Kalkulationszinsfüße werden im Rahmen einer Sensitivitätsanalyse untersucht, womit wir auch dem zweiten Gesichtspunkt Rechnung tragen. Ähnliche Überlegungen lassen sich auch hinsichtlich der Frage anstellen, ob bei der Verzinsung des Anlagevermögens vom durchschnittlich gebundenen Kapital oder vom gesamten Anlagevermögen auszugehen ist. Wir verweisen in diesem Zusammenhang ebenfalls auf die Sensitivitätsanalyse.

Bei der Ermittlung der Anschaffungswerte neuer Kapazitäten kann auf das Zahlenmaterial der Anlagenschreibung zurückgegriffen werden. Ältere Anschaffungswerte können dabei durch die branchenüblichen Preisindizes hochgerechnet werden. Bei der Beschaffung der Anschaffungskosten für technisch neue Anlagentypen kommt uns dabei zugute, daß für den Fahrzeugtyp A in jüngster Zeit ein umfangreiches Investitionsprogramm durchgeführt wurde, aus dem sich die Anschaffungswerte für die entsprechenden Investitionen des Fahrzeugtypen B ableiten lassen. Bei der Quantifizierung des technischen Fortschrittes, der sich in Rationalisierungseffekten bei Belegzeiten und Fertigungszeiten ausdrückt, geben wir dem Benutzer in unserem Programm eine Hilfestellung, indem wir ihm die neuen Zeiten auf der Basis der alten schätzen lassen. Diese Vorgehensweise

wurde gewählt, weil es dem Fertigungsplaner wesentlich leichter fällt, die prozentuale Verbesserung, die durch eine neue Anlage gegenüber der alten Anlage erreicht werden kann, zu schätzen, als unmittelbar jede einzelne Beleg- und Fertigungszeit anzugeben.

5.3. Parameter zur Beschreibung der Kapazitäten und des Kapazitätsbedarfs

1. Produktionskapazität

Für alle Montageteile und Schweißgruppen läßt sich die Kapazität durch eine Stückzahlangebe ausdrücken, die durch den Arbeitstakt des Fertigungsverfahrens bestimmt wird. Für die Universalmaschinen im Preßwerk messen wir die Kapazitäten in Fertigungsminuten pro Tag. Dabei ist die verfügbare Kapazität kleiner als die Arbeitszeit pro Tag, da Abschläge für Reparatur und Rüstzeiten sowie für die Ausschußproduktion zu berücksichtigen sind. Die Ist-Auslastung der Pressenstraßen wird über ein EDV-System kontinuierlich erfaßt und ausgewertet. Daraus ergibt sich, daß die maximal verfügbare Kapazität durchschnittlich bei 65 % der Arbeitszeit pro Tag liegt. Den Kapazitätsverbrauch messen wir durch die Belegzeit eines Teiles, die aus den Fertigungsplänen zu ersehen ist. Die verfügbare Kapazität in den einzelnen Pressenstraßen läßt sich anhand von Belegungsplänen ermitteln.

2. Umschlagskapazitäten

Die Kapazität der Verladestationen im Schienenverkehr messen wir durch die Anzahl der Eisenbahnwaggons vom Typ Hbis, die pro Tag in einer Verladestation umgeschlagen werden können. Wir unterscheiden dabei nicht, ob volle oder leere Transport-

behälter umgeschlagen werden. Wie sich in der Praxis zeigt, macht es für den Staplerfahrer kaum einen Unterschied, ob er nun einen vollen oder einen leeren Behälter transportiert. Selbst dann, wenn geringfügige Unterschiede zu berücksichtigen sind, können wir diese Annahme aufrecht erhalten. Der Grund ist darin zu sehen, daß nicht einzelne Waggon, sondern ein ganzer Zug mit mehreren Waggon gleichzeitig in die Verladestation eingefahren wird. Jeder Staplerfahrer be- und entlädt nun die seinem Arbeitsbereich zugeordneten Waggon, unabhängig davon, ob volle oder leere Transportbehälter umzuschlagen sind. Die Waggon können erst wieder aus der Verladestation abgezogen werden, wenn der letzte Waggon wieder beladen ist. Daraus ergibt sich, daß die Umschlagszeit durch den Be- und Entladevorgang, der die längste Arbeitszeit in Anspruch nimmt, bestimmt wird.

Zur Berechnung der verfügbaren Kapazitäten in den Verladestationen und der Transportmittel wurden die Frachtlisten der Verladestationen über einen Zeitraum von vier Wochen ausgewertet. Wir erhielten so die Zahl der Transportmittel, die durchschnittlich pro Tag von Ingolstadt nach Neckarsulm und umgekehrt in Bewegung gesetzt werden. Mit Ausnahme von zwei Baugruppen, die vorerst weiterhin für den Fahrzeugtypen A im Werk Ingolstadt hergestellt und zum Werk 1 transportiert werden sollen, können wir davon ausgehen, daß dieses Transportvolumen mit der Verlagerung des Fahrzeugtypen A entfällt. Um nun die für uns verfügbare Kapazität zu erhalten, müssen wir noch einen Abschlag für diejenigen Teile machen, die in den Zwischenwerksverkehr gehen, ohne daß wir sie in unserem Modell erfassen. Dieser Anteil, der sich hauptsächlich aus Kleinteilen zusammensetzt, wurde von der Transportabteilung auf 12.5% geschätzt (jeder 8. Waggon). Da die Verladestationen, den weiteren Angaben zufolge, an beiden Standorten mit der gegebenen Verteilung ausgelastet waren, ergaben sich für die installierten und die verfügbaren Kapazitäten die in Tab. 5.2 zusammengefaßten Werte. Die maximale Verladekapazität wird dabei von baulichen Restriktionen bestimmt. Bis dorthin kann

die Kapazität variiert werden, je nachdem, wieviele Stapelfahrzeuge in den Stationen eingesetzt werden können. Wir geben in unserem Modell die Kapazitäten entsprechend den derzeitigen Bedingungen an und berücksichtigen aber gleichzeitig auch die Erweiterungsmöglichkeiten. Die Daten, die wir hier einsetzen, beruhen im wesentlichen auf Erfahrungswerten der Verlademeister. Auf die Messung des Kapazitätsbedarfes mit Hilfe von Äquivalenzziffern sind wir bereits in Kap. 42.2. eingegangen.

Kapazitäts- bezeichnung \ Kapazitäts- art	installierte Kapazität	verfügbare Kapazität
interne Verladestation IN (Waggon/Tag)	160	75,4
externe Verladestation IN (Waggon/Tag)	45	17,10
interne Verladestation NSU (Waggon/Tag)	180	92,5
Privat-Waggon (Stück)	33	16
Trans-Waggon (Stück)	20	4
interne Lagerflächen IN (m ²)	27.300	2.180,26
externe Lagerflächen IN (m ²)	28.615	3.266,14

Tabelle 5.2: Kapazitäten im Lager- und Transportbereich

3. Lagerkapazitäten

Während am Standort Neckarsulm im Rahmen unseres Problems von ausreichend verfügbaren Lagerflächen ausgegangen werden kann, sind die Lagerkapazitäten am Standort Ingolstadt weitestgehend ausgelastet, so daß insbesondere durch die Verlagerung des Fahrzeugtypen A nach Ingolstadt mit Engpässen zu rechnen ist. Wir beschränken uns deshalb auf die Betrachtung der Lagerkapazitäten in Ingolstadt, wobei wir auch das Ersatzteilelager bei einem maximalen Lagerflächenbedarf von ca. 160 qm und einer Lagergröße von insgesamt 70.000 qm außer acht lassen dürfen. Um nun die verfügbaren Lagerkapazitäten abschätzen zu können, wurde mit Hilfe unseres Modells für die bestehende Produktionsverteilung der Lagerflächenbedarf am Standort Ingolstadt berechnet. Dabei kann die Teilebindung in den Lagern mit Hilfe der beschriebenen Bindungsfaktoren leicht dargestellt werden. Aus der Zahl der Teile, die im Lager durchschnittlich gebunden sind, der Behältergrundfläche und der maximal zulässigen Stapelhöhe wird der Netto-Lagerflächenbedarf ermittelt. Aus diesem Nettobedarf läßt sich der Brutto-Lagerflächenbedarf durch entsprechende Zuschläge für Verkehrsflächen abschätzen. Die Faktoren konnten wir durch Vermessung der Verkehrsflächen und der reinen Lagerflächen ermitteln.

Um schließlich die für unser Teilespektrum verfügbare Kapazität zu erhalten, mußte zusätzlich noch der Lagerflächenbedarf, der sich aus der Verlagerung des Fahrzeugtypen A ergibt, in Abzug gebracht werden. Dazu wurde anhand von Bestandslisten das relevante Teilespektrum ermittelt und der Lagerflächenbedarf abgeschätzt (vgl. Tab. 5.2).

4. Die verfügbaren Transportmittel

Von den Transportmitteln, die im Zwischenwerksverkehr eingesetzt werden, sind für unsere Problemstellung lediglich der Privat-Waggon und der Trans-Waggon beschränkt verfügbar. Auch

in diesem Falle waren die verfügbaren Transportmittel aus den Transportmengen zu berechnen, die nach der Verlagerung des Fahrzeugtypen A entfallen könnten (vgl. Tab. 5.2).

5. Die verfügbaren Transportbehälter

Zur Erfassung der verfügbaren Transportbehälter griffen wir auf die Inventurbestände zurück. Bei Spezialbehältern, die ja nur ein bestimmtes Teil transportieren, erhalten wir mit dem Inventurbestand gleichzeitig den gesuchten Wert. Ein Vergleich der nach dem Bedarf gewachsenen Inventurbestände mit den aus einer Modellrechnung sich ergebenden Werten ergab bei diesen Spezialbehältern eine Abweichung von durchschnittlich 15,5 %. Daraus leiten wir ab, daß sich mit den zugrunde gelegten Berechnungsmethoden der Behälterbedarf hinreichend genau abschätzen läßt. Die Zahl der im Transportsystem benötigten Behälter kann aus den Transportlosen der Teile und mit Hilfe der Bindungsfaktoren berechnet werden. Bei Teilen, die in Losen hergestellt werden, ist jedoch zu berücksichtigen, daß bei der Produktion eine der Losgröße entsprechende Zahl von Behältern verfügbar sein muß.

Der Behälterbedarfsfaktor bei Losgrößenfertigung kann wie folgt abgeschätzt werden:

$$(52.3) \quad \delta_{ijl}^F = 1/\varphi_{il} \cdot (SB_{ig} + CY_{ij} + WU_{ij}) \cdot BKF_{il}$$

(für alle j, l, i=i'+1, ..., n, g=1,4)

Mit Hilfe des Korrekturfaktors BKF_{il} lassen sich zusätzliche Sicherheitsreserven, z. B. für reparaturanfällige Behälter berücksichtigen. Die Zahl der verfügbaren Universalbehälter, die sich aus unserer Modellrechnung ergab, wurde nun noch ergänzt durch die Zahl der Behälter, die nach der Verlagerung

des Fahrzeugtypen A nach Ingolstadt zusätzlich zur Verfügung stehen wird.

5.4. Sonstige Parameter

Zu nennen sind hier vor allem Eingabewerte, mit deren Hilfe wir die Modellumwelt beschreiben. Die Produktionsmengen der Endprodukte erhalten wir für jeden Standort aus der mittelfristigen Produktionsprogrammplanung, die sich wiederum aus den Absatzprognosen für die einzelnen PKW-Typen im In- und Ausland ableitet (vgl. dazu Kap. 7). Den Entscheidungszeitraum müssen wir in unserem Falle auf die Restlaufzeit der Serie, d. h. auf ca. zwei Jahre beschränken. Die Zahl der Arbeitstage pro Jahr läßt sich aus dem Schichtkalender ableiten. Um die Folgen von Veränderungen in der Transport- und Fertigungskostenstruktur aufzeigen zu können, haben wir Trendfaktoren definiert, mit deren Hilfe unterschiedliche Frachtkostenentwicklungen und standortabhängige Lohnkostenunterschiede zum Ausdruck gebracht werden können. In Absprache mit dem Management und den Fachabteilungen wurden die Trendfaktoren und der Kalkulationszins für eine optimistische, eine mittlere oder normale und eine pessimistische Umweltentwicklung - wie in Tab. 5.3 beschrieben - festgelegt.

In der optimistischen Umweltkonstellation fällt eine Reduktion der Frachtsätze für den Privat-Waggon und den Trans-Waggon auf. Diese Entwicklung ist darauf zurückzuführen, daß eine Senkung der Mindestgewichte für die Frachtabrechnung für möglich gehalten wird, woraus sich dann eine entsprechende Kostenverbesserung ergäbe.

Umweltent- wicklung Parameter	optimistisch	normal	pessimistisch
Kalkulations- zins	8 %	10 %	12 %
Lohnkostentrend Ingolstadt	1,03	1,05	1,10
Lohnkostentrend Neckarsulm	1,02	1,04	1,09
Frachtkostentrend Hbis	1,02	1,03	1,04
Privat-Waggon	0,98	1,03	1,04
Trans-Waggon	0,97	1,03	1,04
LKW	1,02	1,03	1,06

Tabelle 5.3: Umweltkonstellationen

KAP. 6 DARSTELLUNG UND DISKUSSION DER MODELLERGEBNISSE

6.1. Beschreibung der Alternativen

Am Ausgangspunkt der Alternativenentwicklung wurde zunächst versucht, für bestimmte Teilemengen eine optimale Produktionsverteilung zu finden. Zu diesem Zweck bildeten wir sieben Baugruppen, in denen wir artverwandte Teile zusammenfaßten. Danach wurde versucht, innerhalb dieser Gruppen optimale Verteilungsstrukturen zu ermitteln, wobei allgemeine Kapazitätsrestriktionen im Lager- und Transportbereich außer acht blieben. Insgesamt wurden auf diese Weise 41 verschiedene Verteilungen ausgewertet. Unter Berücksichtigung der hierbei gewonnenen Ergebnisse wurden nun für das gesamte Teilespektrum insgesamt 29 Verteilungsalternativen entwickelt, von denen wir wiederum 10 näher untersucht haben und im folgenden beschreiben wollen.

Bei der ersten Gruppe von Alternativen wurde versucht, die vorhandenen Produktionskapazitäten an beiden Standorten weitestgehend auszunutzen und Investitionen zu vermeiden. Auf diese Weise entstanden die Alternativen 2 und 7, die sich aufgrund der geringen Fixkostenanteile durch die niedrigsten Produktionskosten von allen betrachteten Alternativen auszeichnen. Die einseitige Auslastung der am Standort Ingolstadt konzentrierten Produktionskapazitäten führt jedoch zu einem enormen Transportaufkommen, das hohe Kosten im Lager- und Transportbereich zur Folge hat. Die Verladekapazitäten in den Umschlagstationen reichen dabei bei weitem nicht mehr aus, um das Transportaufkommen über die Schiene abzuwickeln, so daß ein erheblicher Teil der Transporte auf die Straße verlagert werden muß. Auch die Kapazität des externen Lagers am Standort Ingolstadt wird überschritten, was die Anmietung weiterer 1.500 qm Lagerflächen und den Einsatz zusätzlichen Lagerpersonals erforderlich macht. Die hohen fixen Kosten im Lager- und

Transportbereich ergeben sich jedoch vor allem aus der Anschaffung von teuren Spezialtransportbehältern.

Da bei Alternative 2 auch die Pressenstraßen am Standort Ingolstadt hart an der Kapazitätsgrenze arbeiten, wurde Alternative 7 mit dem Ziel entwickelt, gerade im Pressenbereich eine flexiblere Verteilung zu erhalten, um bei geringen Mengenveränderungen hohe Investitionskosten (eine Pressenstraße ca. 20 Mio. GE) zu vermeiden (vgl. dazu Abschnitt 6.3).

Für die nächste Gruppe von Alternativen wurde nun versucht, sukzessive die transportkostenintensiven Teile auf beide Produktionsstandorte zu verteilen, um auf diese Weise die Transportkosten und damit auch die Gesamtkosten zu reduzieren. Es entstand Alternative 10, mit der eine beträchtliche Verminderung der Gesamtkosten erreicht werden kann. Die erhöhten Produktionskosten lassen sich dabei durch erhebliche Transportkosteneinsparungen überkompensieren.

Allen bisher besprochenen Alternativen ist gemeinsam, daß sie zu einer einseitigen Belastung des Standortes Ingolstadt führen, was eine entsprechend ungleiche Verteilung des Personalbedarfs zur Folge hat. Aus diesem Grunde wurde nun versucht, ausgehend von der Alternative 10, eine Verteilung zu finden, die bei möglichst geringer Kostenerhöhung eine ausgeglichene Verteilung des Personalbedarfs auf beide Standorte gewährleistet. Mit Alternative 14 kann dieses Ziel am kostengünstigsten realisiert werden, wobei sich jedoch gegenüber der Alternative 10 die Gesamtkosten um 2,93 Mio. (GE) erhöhen.

Bei den bisherigen Überlegungen sind wir davon ausgegangen, daß — wie vom Unternehmen geplant — auch nach der Konzentration des Fahrzeugtypen A auf den Standort Ingolstadt die Produktionsanlagen für zwei Karosserie-Baugruppen auch weiterhin am Standort Neckarsulm verbleiben und die Teile von dort der Produktion in Ingolstadt zugeliefert werden. Da gleichzeitig auch Überlegungen im Gange sind, die Verlagerung dieser

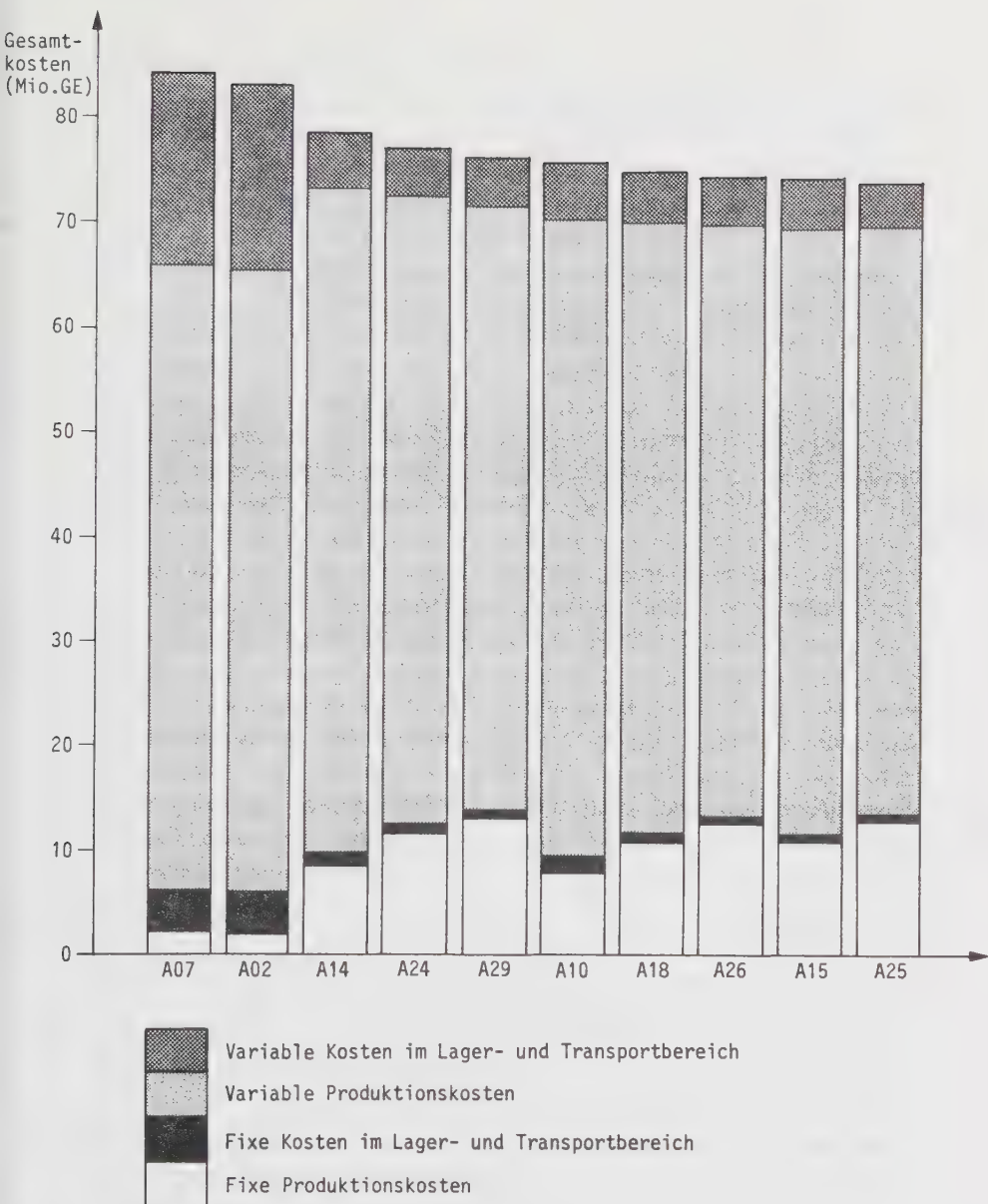


Abb. 61.1
Darstellung der Kostenergebnisse

Produktionsanlagen nicht aufzuschieben und am Standort Neckarsulm für den Fahrzeugtyp B neue, moderne Produktionsanlagen für dieselben Baugruppen zu installieren, wurden diese Investitionsalternativen in unsere Untersuchung mit einbezogen. Die Alternative, die Produktionsanlagen für beide Fahrzeugtypen am Standort Ingolstadt zu konzentrieren, wurde verworfen, da ihr bauliche Restriktionen mit prohibitiven Kosten entgegenstehen.

Aus der Durchführung dieser Projekte ergeben sich erhebliche Rationalisierungseffekte. Zusätzlich errechnen sich durch die Verlagerung der beiden Produktionsanlagen für den Fahrzeugtypen A Transport- und Produktionskostensparnisse von 1,5 bzw. 1,4 Mio. (GE). Andererseits ist die Realisierung dieser beiden Projekte mit hohen Investitionen verbunden.

Alternative 15 berücksichtigt das erste der beiden Projekte, das die größeren Rationalisierungseffekte verspricht. Wie sich zeigt, können mit dieser Alternative die Gesamtkosten nochmals um 1,28 Mio. (GE) reduziert werden. Die Kostensparnisse resultieren dabei aus erheblich verminderten variablen Produktionskosten, die sich wiederum aus verkürzten Fertigungszeiten auf den neuen Anlagen ergeben. Der Rationalisierungseffekt drückt sich deshalb auch in einer Verminderung des Personalbedarfs aus.

Mit Alternative 18 wird wiederum versucht, die Flexibilität der Verteilung durch eine möglichst günstige Verteilung der Preßteileproduktion zu erhöhen. Mit Alternative 24 wird auf Basis der Alternative 15 das Ziel eines möglichst ausgeglichenen Personalbedarfs für beide Standorte verfolgt.

Das entsprechend dem Kostenkriterium beste Ergebnis kann mit der Realisierung beider Produkte in Alternative 25 erzielt werden. Gegenüber Alternative 15 reduziert sich der Zielfunktionswert nochmals um 0,489 Mio. (GE). Dabei zeigt sich, daß aufgrund der Verlagerung der Preßteile für die entsprechende

Baugruppe des Fahrzeugtypen A auf den Produktionsstandort Ingolstadt am Standort Neckarsulm freie Pressenkapazitäten genutzt und bereits mit Alternative 25 eine auch in der Preßteileproduktion relativ flexible Verteilung gefunden wurde. Eine weitere Verbesserung der Flexibilität gegenüber Nachfragerhöhungen versprach Alternative 26 (vgl. dazu Abschnitt 4.3). Schließlich wurde wieder mit Alternative 29 versucht, auf Basis der Alternative 25 eine Verteilung zu ermitteln, die an beiden Standorten zu einem ausgeglichenen Personalbedarf führt.

Bei vergleichender Betrachtung der Alternativen in Abb. 61.1 ist bemerkenswert, daß die Kostenersparnisse der Alternativen mit den besten Ergebnissen, nicht wie etwa für die Alternativen 15 und 25 erwartet, aus Produktionskosteneinsparungen resultieren, sondern aus den Einsparungen bei den Lager- und Transportkosten. Betrachten wir die Auslastung der Umschlagskapazitäten, so zeigt sich dieser Trend ganz deutlich. Bereits ab Alternative 10 werden die Kapazitäten nicht mehr voll ausgelastet. Eine ähnliche Entwicklung zeichnet sich für das externe Lager in Ingolstadt ab. Hier sind jedoch erst für die Alternative 25 genügend Lagerflächen verfügbar, während in allen vorhergehenden Verteilungsalternativen die verfügbare Kapazität noch überschritten wird und Anpassungsmaßnahmen erforderlich sind.

6.2. Auswertung der Tradeoff-Analyse

Betrachten wir die Alternativen 10, 15 und 25 im Vergleich, so zeigt sich anhand der Abb. 62.1, daß mit Alternative 10 im Verhältnis zum Investitionsbedarf eine relativ hohe Kosteneinsparung erzielt werden kann. Setzen wir die Alternative 2 als Maßstab, so beträgt die Kostenersparnis 9,15 %, wobei gleichzeitig der Investitionsbedarf um 467,5 % steigt. Mit Alternative 15 kann eine Kostenersparnis von 10,69 % realisiert werden, wobei jedoch der Investitionsbedarf bereits auf

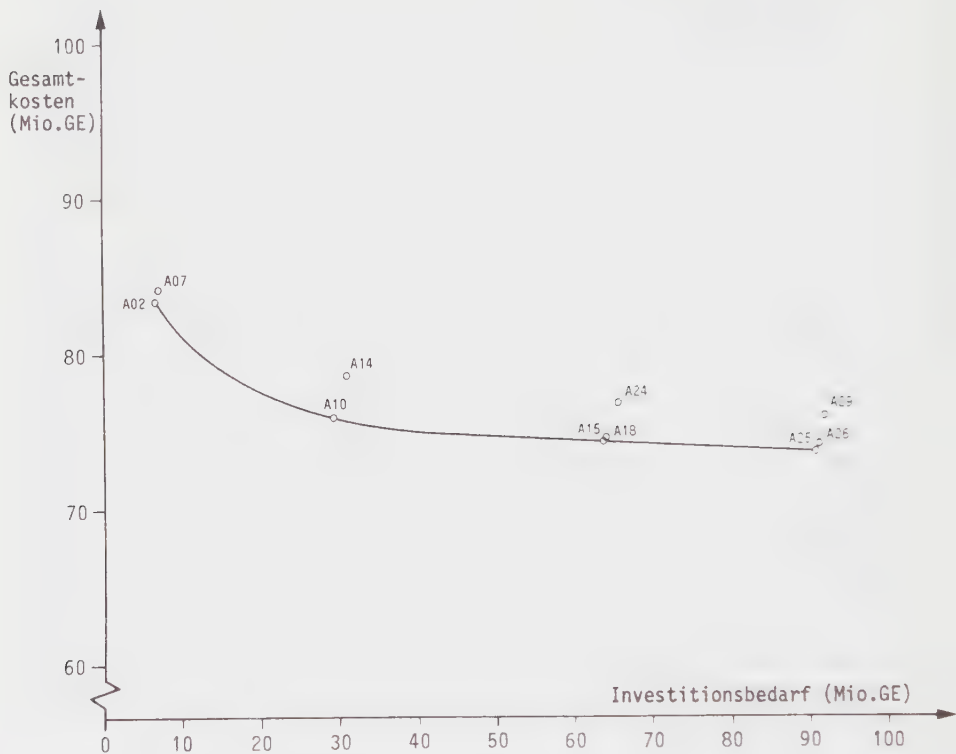


Abb. 62.1

Tradeoff zwischen Gesamtkosten und Investitionsbedarf

1.019,8 % ansteigt. Für die Alternative 25, die insgesamt die niedrigsten Gesamtkosten bringt, ist für eine Kostenersparnis von 11,23 % der Investitionsbedarf auf 1.459,8 % angestiegen. Wie diese Relationen zeigen (vgl. Abb. 62.1), müssen ab der Alternative 10 weitere Kostenersparnisse mit hohem Kapitaleinsatz erkaufte werden.

Jedoch sei darauf hingewiesen, daß eine endgültige Beurteilung der Vorteilhaftigkeit von Investitionen nicht nur anhand des Kostenkriteriums und des Investitionsmittelbedarfs entschieden werden kann. Bei dieser Entscheidung spielen beispielsweise auch qualitative Vorteile, die sich aus einer neuen Fertigungsmethode ergeben, eine Rolle. Sie spiegeln sich nicht in den Kosten wider, haben aber vor allem in der Automobilindustrie einen starken Einfluß auf den absatzwirtschaftlichen Bereich. In unserem Modell sind diese zusätzlichen Vorteile einer Investition nicht quantifizierbar und damit inponderabel.

Wie in Kap. 2 bereits angesprochen, sind Personalveränderungen, die einen Standort benachteiligen, ein betriebspolitisches Problem. Man ist deshalb, wie die Praxis zeigt, geneigt, unpopuläre Entscheidungen, soweit sie wirtschaftlich vertretbar sind, zu vermeiden. Wir haben deshalb bewußt Alternativen hinsichtlich der Zielsetzung eines an beiden Standorten ausgeglichenen Personalbedarfs entwickelt. Wie die Abb. 62.2 zeigt, kann dieses Ziel nur mit erheblichen Mehrkosten erkaufte werden. Dabei steigen die Kosten von Alternative 29 gegenüber Alternative 25 um 2.303 Mio. (GE) bzw. um 3,12 % an. Hierbei schlagen sich vor allem die höheren Lohnkosten am Standort Neckarsulm in den Ergebnissen nieder. Ein Ausgleich kann teilweise durch die Realisierung der bereits beschriebenen Rationalisierungsinvestitionen geschaffen werden, die den Personalbedarf am Standort Neckarsulm erhöhen und gleichzeitig die Gesamtkosten vermindern. Wie jedoch die Abb. 62.3 verdeutlicht, wird dabei insgesamt betrachtet der Faktor Arbeit durch Kapital substituiert. Der Rationalisierungseffekt wird also durch den Abbau von Personal erreicht.

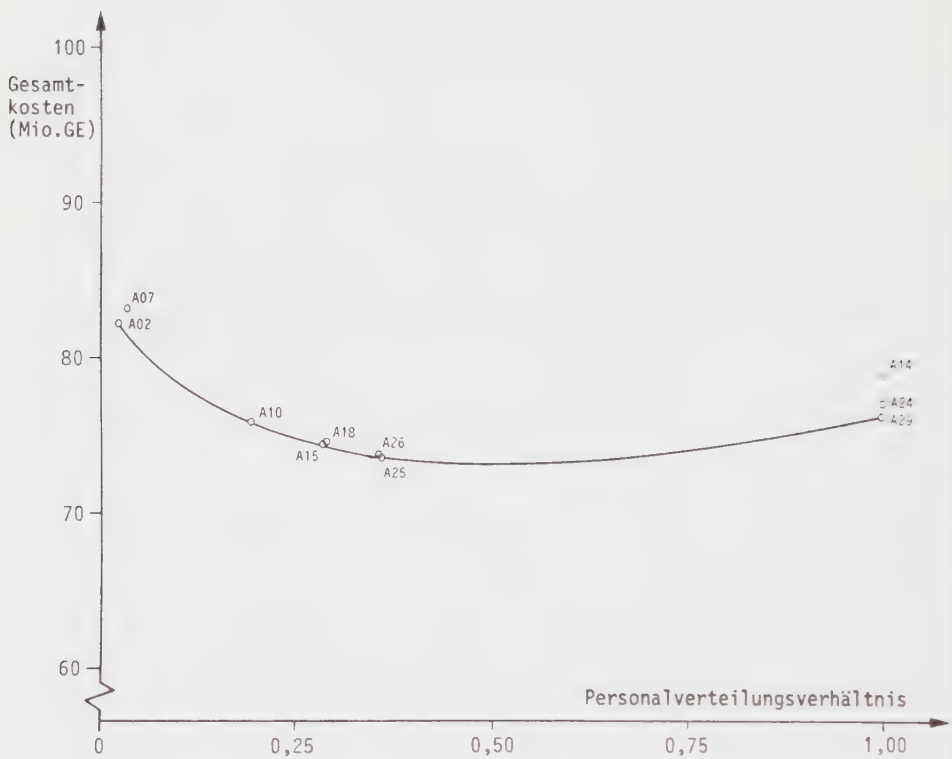


Abb. 62.2

Tradeoff zwischen Gesamtkosten und Personalverteilungsverhältnis

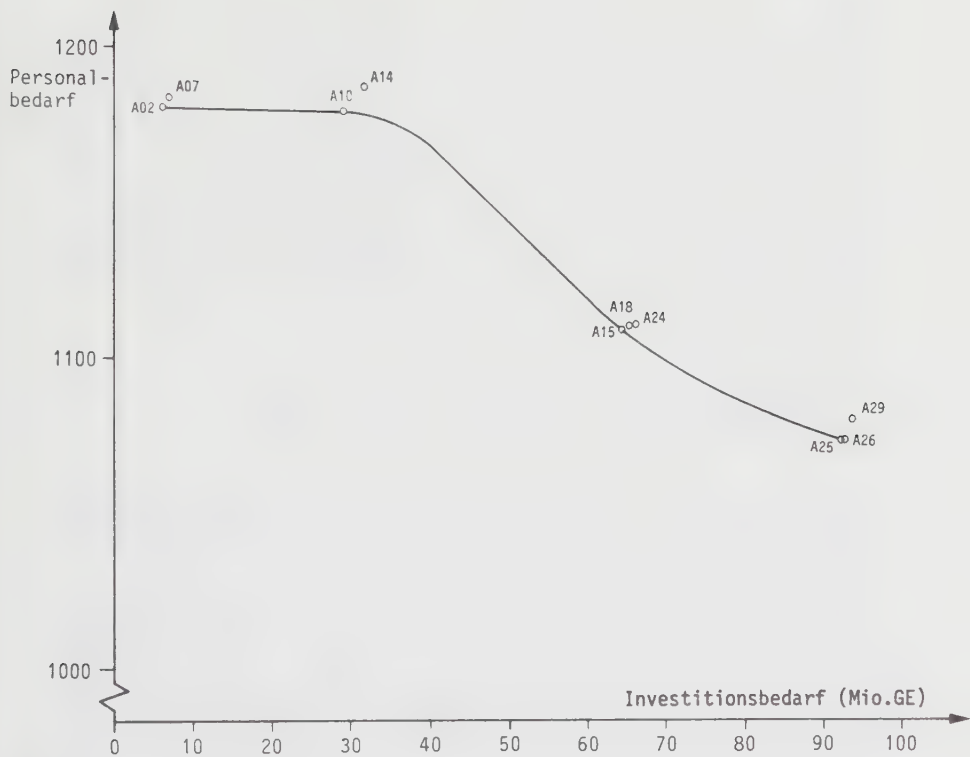


Abb. 62.3

Tradeoff zwischen Personalbedarf und Investitionsbedarf

6.3. Sensitivitätsanalyse

Bei der Berechnung der bisherigen Modellergebnisse haben wir für alle Umweltparameter Werte festgelegt, die einer normalen oder mittleren Entwicklung entsprechen. Da unsicher ist, welche Werte die Umweltfaktoren wirklich annehmen werden, müssen wir uns die Frage nach der Veränderlichkeit der Ergebnisse in Abhängigkeit von Veränderungen der Umweltfaktoren des Modells stellen. Von besonderem Interesse sind dabei Werte der Umweltparameter, bei denen sich die Reihenfolge der Alternativen nach dem Kostenkriterium verändert (vgl. Hanssmann, 1978, S. 120).

1. Entwicklung der Kosten in verschiedenen Umweltkonstellationen

Die Vorstellungen des Managements bezüglich der durchschnittlichen Entwicklung von Zinsen, Lohn- und Transportkosten haben wir bereits im Kap. 5, Tab. 5.3 zusammengefaßt. Die Ergebnisse dieser Analyse werden wir in der Tab. 63.1 darstellen. Es zeigt sich, daß die verschiedenen Umweltkonstellationen einen relativ geringen Einfluß auf die Rangfolge der Alternativen ausüben. Alternative 25 dominiert in allen drei Umweltkonstellationen. Auffällig ist, daß im pessimistischen Szenario Alternative 15 ein relativ gutes Ergebnis bringt. Dies gilt vor allem in Anbetracht der Tatsache, daß die Alternative 15 im Vergleich zur Alternative 25 einen erheblich geringeren Investitionsmitelesatz verlangt. Eine ähnliche Entwicklung zeichnet sich auch für die Alternative 10 ab, die mit einem gegenüber der Alternative 25 um 62,114 Mio. (GE) und gegenüber Alternative 15 um 34,572 Mio.(GE) verminderten Investitionsmitelesatz realisiert werden kann.

In Anbetracht der Tatsache, daß die Umweltkonstellationen für die durchschnittliche Entwicklung innerhalb eines relativ kurzen Zeitraumes von 2 Jahren prognostiziert wurden, kann die

Umwelt Rang	optimistisch	normal	pessimistisch
1	A 25 (71,612)	A 25 (73,869)	A 25 (77,560)
2	A 26 (72,033)	A 26 (74,299)	A 15 (77,885)
3	A 15 (72,343)	A 15 (74,358)	A 26 (78,019)
4	A 18 (72,591)	A 18 (74,595)	A 18 (78,140)
5	A 29 (73,861)	A 10 (75,643)	A 10 (78,973)
6	A 10 (73,919)	A 29 (76,173)	A 29 (79,988)
7	A 24 (74,759)	A 24 (76,832)	A 24 (80,471)
8	A 14 (76,780)	A 14 (78,577)	A 14 (82,055)
9	A 02 (81,615)	A 02 (83,260)	A 02 (86,603)
10	A 07 (82,352)	A 07 (83,987)	A 07 (87,359)

Tabelle 63.1: Rangfolge der Alternativen in verschiedenen Umweltkonstellationen (Gesamtkosten in Mio. GE).

Analyse nur als ein Test gewertet werden, der auf extrem empfindliche Alternativen aufmerksam machen soll. Wir wollen uns deshalb einer Empfindlichkeitsanalyse bezüglich einzelner Umweltfaktoren zuwenden und die Störanfälligkeit der Alternativen bei verschiedenen Lohn-, Fracht- und Zinssätzen untersuchen. Dabei soll immer nur ein Umweltfaktor variiert werden, während die anderen alle Werte annehmen, die einer mittleren Umweltentwicklung entsprechen.

2. Einfluß der Lohnkostenentwicklung

Da für die beiden Produktionsstandorte des Unternehmens unterschiedliche Tarifverträge gelten, wollen wir zunächst beide Standorte differenziert betrachten. In den Abb. 63.2 und 63.3 haben wir die Gesamtkostenentwicklung in Abhängigkeit von der Lohnsatzentwicklung für die interessantesten Alternativen dargestellt.

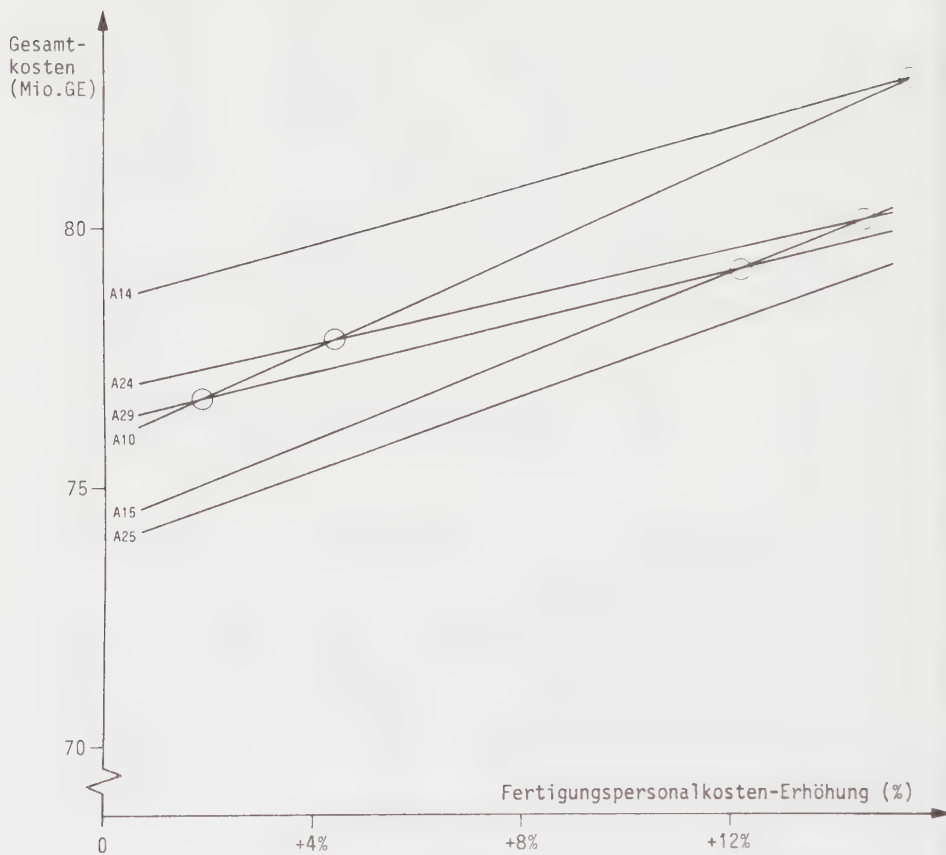


Abb. 63.2

Empfindlichkeit gegenüber Fertigungspersonalkosten-Erhöhrungen
am Standort Ingolstadt

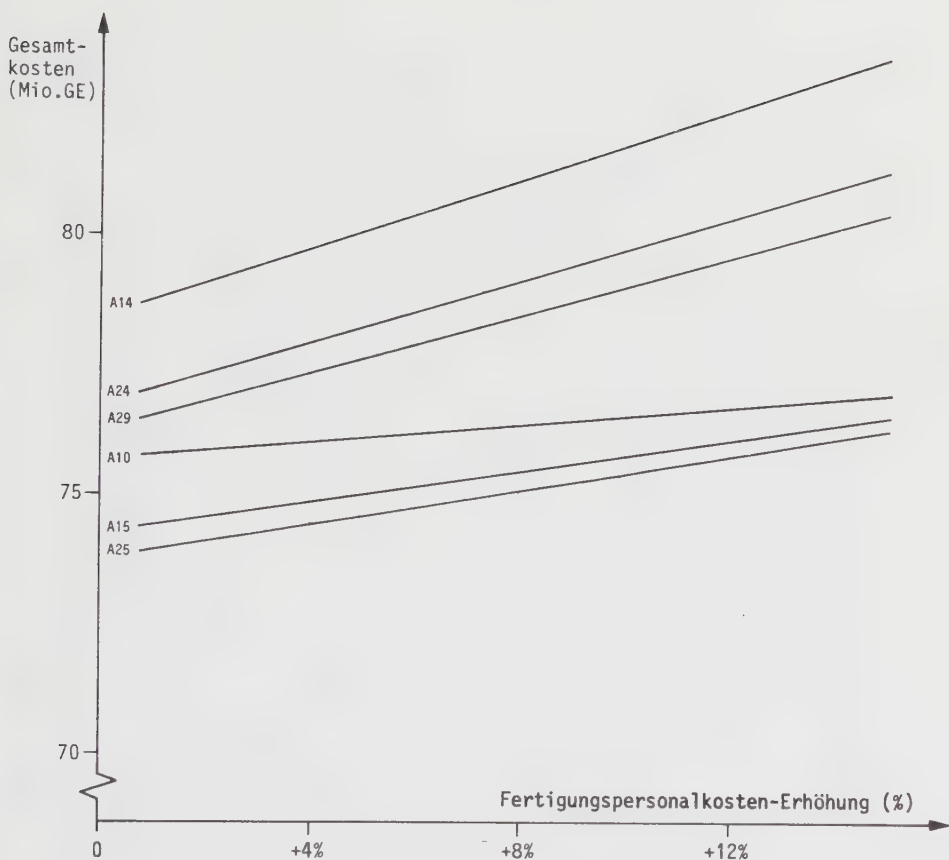


Abb. 63.3

Empfindlichkeit gegenüber Fertigungspersonalkosten-Erhöhrungen
am Standort Neckarsulm

Für diese Analyse wurden die Trendfaktoren gegenüber der normalen Umweltentwicklung schrittweise angehoben.

Besonders interessant ist der Vergleich derjenigen Alternativen, die wir mit dem Ziel, den Personalbedarf an beiden Standorten auszugleichen, entwickelt haben, mit den besten Alternativen des entsprechenden Investitionsniveaus. Bei der Marke +8 % ist der Lohnkostenvorteil des Standortes Ingolstadt gegenüber dem Standort Neckarsulm ausgeglichen. Bis zu diesem Punkt verändert sich jedoch lediglich die Rangordnung der Alternativen 10, 24 und 29. Da die Alternativen 24 und 29 den Personalbedarf an beiden Standorten ausgleichen, können wir das Ergebnis auch so interpretieren, daß ab diesen Schnittpunkten der Kostennachteil, der sich aus der gleichmäßigen Verteilung des Personalbedarfs ergibt, durch den Rationalisierungseffekt aus den hohen Investitionen dieser Alternativen gegenüber der Alternative 10 wieder ausgeglichen wird. Dieser Rationalisierungseffekt wird auch dadurch deutlich, daß sich die Alternativen 14 und 10 erst bei einem wesentlich höheren Fertigungspersonalkostenunterschied zwischen beiden Fertigungsstandorten schneiden. Ebenso können wir auch alle übrigen Schnittpunkte oberhalb der 8 %-Marke interpretieren. Das Ergebnis für den Standort Neckarsulm, das wir in Abb. 63.3. dargestellt haben, verläuft zwangsläufig spiegelbildlich zu den Ergebnissen für den Standort Ingolstadt. Je mehr sich der Lohnkostenunterschied zum Standort Ingolstadt ausprägt, um so mehr werden Alternativen bevorzugt, bei denen sich die Produktion am Standort Ingolstadt konzentriert. Die Rationalisierungsvorteile der Alternativen 15 und 25 werden jedoch erst bei einer relativ deutlichen Erhöhung des Lohnkostenunterschiedes zwischen beiden Standorten kompensiert.

Legen wir für beide Standorte eine annähernd gleiche Lohnentwicklung zugrunde (vgl. Abb. 63.4), so bleibt die Rangfolge der Entscheidungsalternativen von Lohnkostenänderungen relativ unberührt. Ein Wechsel in der Rangfolge ergibt sich lediglich zwischen den Alternativen 10 und 29, für die wir jedoch be-

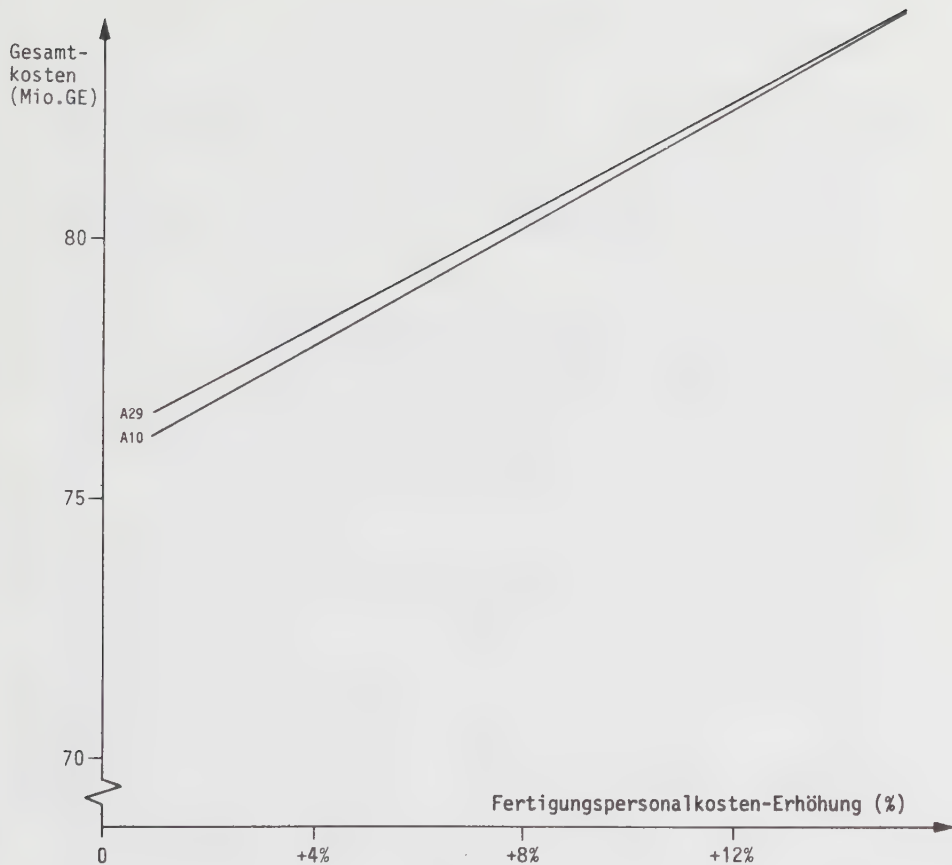


Abb. 63.4

Empfindlichkeit gegenüber Fertigungspersonalkosten-Erhöhrungen
an beiden Standorten

reits eine Interpretation bei der Untersuchung des Standortes Ingolstadt gegeben haben.

3. Der Einfluß von Frachtkostenänderungen

Um den Einfluß von Frachtkostenänderungen zu quantifizieren, wollen wir einen Test durchführen, der eine Anhebung der Trennfaktoren von 1,03 (mittlere Umweltentwicklung) auf 1,10 vorsieht. Wir wollen dabei zunächst die Verteuerung des LKW-Transportes einer Verteuerung des Schienenverkehrs gegenüberstellen. Entsprechend wurden zunächst die Kostensätze für den LKW-Verkehr und anschließend die Frachtsätze für die Transportmittel im Schienenverkehr angehoben. Die Ergebnisse finden wir in den ersten beiden Spalten der Tab. 63.5. Im nächsten Schritt wurden dann die Frachtsätze der einzelnen Transportmittel in gleicher Weise verändert, um den Einfluß der verschiedenen Waggontypen aufzuzeigen. Die Ergebnisse dieser Analyse finden wir in den Spalten 3 - 5 der Tab. 63.5.

Frachtsatz- Veränderung für: Alter- nativen	LKW	alle Schienen- transport- mittel	Hbis- Waggon	Privat- Waggon	Trans- Waggon
A 02	774.302	373.024	105.428	211.153	36.574
A 07	846.164	357.116	89.507	211.261	56.588
A 10	143.329	222.534	42.435	115.658	20.402
A 14	109.668	224.154	32.823	134.065	25.807
A 15	64.813	212.382	15.119	142.796	52.502
A 18	110.542	209.675	18.381	136.883	48.394
A 24	61.606	213.513	16.104	140.830	52.273
A 25	22.316	205.146	11.402	130.046	44.369
A 26	54.084	226.564	14.225	141.633	44.374
A 29	51.863	227.687	14.218	142.743	44.366

Tabelle 63.5: Veränderung der Gesamtkosten bei Erhöhung der Frachtsätze

Bei den Alternativen 2 und 7 fällt die Empfindlichkeit gegenüber Frachtkostenerhöhungen im LKW-Transport auf. Eine Erklärung des Sachverhalts ergibt sich aus der Betrachtung der Kapazitätsauslastung in den Verladestationen. Während in den Alternativen 10 bis 29 in allen Verladestationen noch freie Umschlagskapazitäten verfügbar sind, wird die interne Verladestation am Standort Ingolstadt in den Verteilungsalternativen 2 und 7 zum Engpaß. Um diesen Engpaß ausgleichen zu können, muß der Transport auf die Straße verlagert werden. Daraus ergibt sich wiederum für den LKW-Transport eine relativ hohe Empfindlichkeit.

Von den verschiedenen Transportmittelarten im Schienenverkehr zeigt der Privat-Waggon die größte Empfindlichkeit, die für die Alternativen 10-29 nahezu gleichhohe Kostenveränderungen bringt, da diese Waggonen auch nach der Erhöhung des Frachtsatzes letztendlich mit Leerbehältertransporten ausgelastet werden. Der Einfluß von Frachtkostenänderungen im LKW-Transport ist im Vergleich zu den Alternativen 2 und 7 am deutlichsten zurückgegangen, da aufgrund des stark reduzierten Transportvolumens der LKW-Transport in den Alternativen 10 bis 29 im wesentlichen auf den Transport zwischen dem Werk Ingolstadt und seinem externen Lager beschränkt bleibt. Die Empfindlichkeit dieser Alternativen gegenüber Frachtkostenveränderungen ist aus dem gleichen Grunde relativ gering.

Insgesamt betrachtet ist festzustellen, daß die Veränderung der Rangfolge der Alternativen nach dem Gesamtkostenkriterium aufgrund des Einflusses von Frachtkostenveränderungen nicht zu erwarten ist.

4. Der Einfluß von Kapazitätsveränderungen im Transportbereich auf das Kostenergebnis

Im folgenden sollen nun die für unser Transportmodell gesetzten Restriktionen gelockert und der Einfluß von Kapazitätsver-

änderungen untersucht werden. In einem ersten Test wurde zunächst die Umschlagskapazität der internen Verladestation an beiden Standorten um 20 Einheiten erhöht. Wir gehen dabei davon aus, daß der Kapazitätswachstums jeweils durch den Einsatz eines zusätzlichen Stapelfahrzeuges erreicht werden kann. Diese Maßnahme bringt eine Ergebnisverbesserung von 112.720 (GE) (Alternative 2). Wie allerdings die Auslastungsanalyse zeigt, kann die auf diese Weise zusätzlich geschaffene Kapazität nur durch den Einsatz des relativ teureren Waggons vom Typ Hbis genutzt werden, da die günstigeren Transportmittel im Schienenverkehr bereits ausgelastet sind. Aufgrund dieses Ergebnisses wurde nun in einem nächsten Schritt der Einsatz weiterer Trans-Waggons simuliert. Diese Maßnahme brachte eine überraschend hohe Kostenersparnis mit sich. So konnte für die Alternative 7 die Zielfunktion um 1.135.316 GE verbessert werden. Dabei ist zu beachten, daß der Einsatz weiterer Trans-Waggons keine zusätzlichen Investitionsmittel erfordert.

Im weiteren Verlauf der Analyse wurden noch weitere Verbesserungsmöglichkeiten sichtbar. Eine besonders günstige Konstellation ergibt sich demnach aus der Erhöhung der Umschlagskapazität um insgesamt 40 Einheiten und dem Einsatz von 37 Trans-Waggons, womit die Gesamtkosten um insgesamt 1,856 Mio. (GE) für Alternative 2 und um 1,807 Mio. (GE) für Alternative 7 reduziert werden können.

Für den Fall, daß Investitionsmittel zur Anschaffung von Privat-Waggons eingesetzt werden, ergibt sich mit der zusätzlichen Anschaffung von 10 Privat-Waggons und der Anmietung von 26 Trans-Waggons eine Ergebnisverbesserung von insgesamt 2,192 Mio (GE) (Alternative 2). Die höchste Kostenersparnis (2,424 Mio GE) kann bei Alternative 7 mit der Anschaffung von 25 Privat-Waggons und dem Einsatz von 7 Trans-Waggons erreicht werden, was andererseits aber bereits Investitionen in Höhe von 6,450 Mio (GE) erforderlich macht.

Bei den Überlegungen in diesem Abschnitt muß jedoch auch darauf hingewiesen werden, daß bei Kapazitätserhöhungen in der internen Verladestation im Werk Ingolstadt auch bauliche Restriktionen zu beachten sind, die den zusätzlichen Einsatz von Verladefahrzeugen wegen mangelnder Stapel- und Verkehrsflächen beschränken können. Soweit bei einer Erhöhung der Umschlagskapazität Investitionen erforderlich sind, die wir in unserem Modell nicht berücksichtigen, sind wir wenigstens in der Lage, den Vorteil zu quantifizieren, der sich damit erreichen läßt. Weiterhin sind in diesem Zusammenhang auch organisatorische Hemmnisse zu berücksichtigen, die sich beispielsweise dann auswirken, wenn bestimmte Fahrpläne im Güterverkehr zu beachten sind. Außerdem stellen wir fest, daß auch im günstigsten Falle die möglichen Kosteneinsparungen für die Alternativen 2 und 7 keine Veränderung ihres Ranges in der Gesamtbewertung ergeben.

Für die Alternativen 10 - 29 waren die Möglichkeiten, in analoger Weise das Ergebnis zu verbessern, erheblich geringer. Da die Umschlagskapazitäten ohnedies nicht ausgelastet sind, blieb zu untersuchen, inwieweit der Einsatz von zusätzlichen Trans- und Privat-Waggons eine Ergebnisverbesserung bringen würde. Hier brachten die Tests das erstaunliche Ergebnis, daß durch den Einsatz von zusätzlichen Privat-Waggons das Ergebnis nicht mehr verbessert werden kann als durch die Anmietung weiterer Trans-Waggons, obgleich wir bei der Berechnung der Investitionskosten für Privat-Waggons von einer 20jährigen Nutzungsdauer ausgehen. Insgesamt konnten durch den vermehrten Einsatz von Trans-Waggons nach unserem Modell für die Alternativen 10 und 14 Kosteneinsparungen von 387.300 bzw. 342.961 (GE) erzielt werden. Bei den Alternativen 15 - 29 lagen die Einsparungen zwischen 188.390 (Alternative 18) und 66.679 (GE) (Alternative 25).

Dieses Ergebnis ist offensichtlich in erster Linie damit zu begründen, daß das erheblich verminderte Transportvolumen in den Alternativen 10 bis einschließlich 29 vor allem aus der

Verteilung der größeren Schweißgruppen auf beide Standorte resultiert. Denn gerade für den Transport dieser Teile ist der Privat-Waggon besonders gut geeignet. Eine zusätzliche kosten-senkende Wirkung bringt die Verlagerung der Baugruppen des Fahrzeugtypen A von Neckarsulm nach Ingolstadt mit sich. Für die Alternativen 15, 18 und 24 erhöht sich aufgrund dieser Verlagerung die Zahl der durchschnittlich verfügbaren Privat-Waggons auf 18 Waggons, für die Alternativen 25, 26 und 29 auf 19 Waggons, wobei für diese letzten drei Alternativen zusätzlich auch noch ein Trans-Waggon frei wird.

5. Die Empfindlichkeit gegenüber Nachfrageveränderungen

Auf das Problem der Messung von Flexibilität haben wir bereits hingewiesen (vgl. Kap. 2). Für unsere Fallstudie wollen wir die Flexibilität einer Produktionsverteilung anhand von unterschiedlichen Nachfrageentwicklungen beurteilen. Produktionsschwankungen bis zu 20 % werden vom Management der Firma für möglich gehalten. Entsprechend wollen wir unsere Verteilungen an der oberen und unteren Grenze dieser Bandbreite untersuchen.

Zur Beurteilung der Flexibilität der Alternativen soll insbesondere auf die Kostenentwicklung und auf den Investitionsbedarf geachtet werden. Wir gehen bei unserer Analyse von der geplanten Nachfrageentwicklung aus und stellen uns dann die Frage, welche Anpassungsmaßnahmen zu ergreifen sind und wie sich die Kosten und der Investitionsbedarf entwickeln, wenn statt der mittleren eine optimistische oder pessimistische Entwicklung eintritt. Die programmierte Heuristik ermöglicht eine solche Vorgehensweise, indem die fixen Kosten, über die bereits entschieden wurde, zu den fixen Kosten gezählt werden, die sich aus eventuellen Anpassungsmaßnahmen bei alternativen Entwicklungen ergeben. Wir erhalten somit die gesamten Kosten, die entstehen, wenn eine Verteilung auf Basis der geplanten

Produktionsmengen realisiert wird, sich die Produktionsmengen aber im Laufe der Zeit in die eine oder andere Richtung verändern.

Im optimistischen Falle gehen wir von einer Produktionsmenge von insgesamt 930 Fahrzeugen pro Tag aus. Da das Werk Neckarsulm mit 445 Fahrzeugen ausgelastet ist, muß die Differenzmenge in Ingolstadt produziert werden. Im pessimistischen Falle wird mit einer Produktionsmenge von insgesamt 620 Fahrzeugen gerechnet. Da der Standort Ingolstadt die Pufferfunktion übernehmen soll, wird die Produktion an diesem Standort entsprechend vermindert. Zum Vergleich wollen wir für die pessimistische Nachfrageentwicklung den Ausgleich der rückläufigen Produktionsmenge am Standort Neckarsulm durchführen. Die Ergebnisse haben wir nach ihrem Rang geordnet und in Tab. 63.6 zusammengefaßt. Wir stellen fest, daß die Alternative 25 mit dem insgesamt höchsten Investitionsbedarf für alle drei Nach-

Umwelt (IN/NSU)	optimistische (485/445)	mittlere (330/445)	pessimistische (175/445)	pessimistische (330/290)
Rang				
1	A 25 (86,917)	A 25 (73,869)	A 25 (62,162)	A 15 (61,277)
2	A 26 (87,173)	A 26 (74,299)	A 15 (62,377)	A 25 (61,396)
3	A 18 (87,676)	A 15 (74,358)	A 26 (62,495)	A 10 (61,424)
4	A 15 (89,258)	A 18 (74,595)	A 18 (62,532)	A 18 (61,459)
5	A 29 (89,409)	A 10 (75,643)	A 10 (63,428)	A 26 (61,693)
6	A 10 (89,586)	A 29 (76,173)	A 29 (64,005)	A 29 (63,248)
7	A 24 (90,055)	A 24 (76,832)	A 24 (64,498)	A 24 (63,352)
8	A 14 (93,205)	A 14 (78,577)	A 14 (65,715)	A 14 (63,970)
9	A 07 (97,965)	A 02 (83,260)	A 02 (71,138)	A 02 (64,261)
10	A 02 (99,033)	A 07 (83,987)	A 07 (71,762)	A 07 (64,881)

Tabelle 63.6: Rangfolge der Alternativen bei unterschiedlicher Entwicklung der Nachfrage
(Gesamtkosten in Mio. GE)

frageentwicklungen das beste Ergebnis liefert. Nur wenn bei pessimistischer Entwicklung am Standort Neckarsulm der Produktionsausgleich durchgeführt wird, rückt die Alternative 25 an die zweite Stelle nach der Alternative 15. Interessanterweise ist also die Alternative 25 auch bei rückläufiger Produktion robust. Ein Ergebnis, das überraschen mag, da man geneigt ist anzunehmen, daß der hohe Fixkostenanteil dieser Alternative bei rückläufiger Beschäftigung den Rationalisierungsvorteil, der sich vor allem in den variablen Kosten niederschlägt, überkompensiert.

Dies ist jedoch lediglich dann der Fall, wenn die Produktion am Standort Neckarsulm angepaßt wird.

Ein weiteres interessantes Ergebnis zeigt sich bei einer optimistischen Nachfrageentwicklung. Auch hier ist die Alternative 25 robust, obwohl in den Preßwerken Anpassungsinvestitionen für Feedermechanisierungen in Höhe von 4 Mio (GE) erforderlich sind. Die Alternative 26 hingegen, in der die Preßteile mit dem Ziel umverteilt wurden, gerade diese Investitionen zu vermeiden, führt nur zum zweitbesten Ergebnis und bringt nach dem Kostenkriterium keine Flexibilitätadvanteile.

Doch betrachten wir nun auch die Alternativen mit den schlechtesten Ergebnissen. Das sind in allen Entwicklungen die Alternativen mit dem geringsten Investitionsbedarf, die dem Ziel entsprechen, die vorhandenen Kapazitäten, vor allem am Standort Ingolstadt, soweit wie möglich auszulasten. Hierbei fällt auf, daß im pessimistischen Falle für die Alternativen 2 und 7 eine Kostenersparnis von 9,6 % allein dadurch erzielt werden kann, wenn die Produktionsanpassung nicht am Standort Ingolstadt, sondern am Standort Neckarsulm erfolgt. Sofern wir diese Möglichkeit in unser Kalkül mit einbeziehen, läßt sich feststellen, daß bei pessimistischer Nachfrageentwicklung die Ergebnisse in den einzelnen Alternativen relativ nahe zusammenliegen. Die Ergebnisse der besten und der schlechtesten Alternative unterscheiden sich um 3,604 Mio. (GE). Wird die Produktionsmengenanpassung am Standort Ingolstadt durchge-

führt, so ergibt sich immerhin ein Unterschied zwischen der besten und der schlechtesten Alternative von 9,600 Mio. (GE). Im optimistischen Falle hingegen beträgt der Unterschied bereits 12,116 Mio. (GE).

Noch deutlicher werden die Unterschiede für die beiden konträren Nachfrageentwicklungen, wenn wir die Alternativen 2 und 7, die dem Ziel der Minimierung des Investitionsbedarfs entsprechen, ausscheiden. In diesem Falle ergeben sich für die ersten 8 Ränge bei pessimistischer Entwicklung, wenn der Standort Ingolstadt die Pufferfunktion übernimmt, Kostenunterschiede zwischen Rang 1 und Rang 8 von 3,55 Mio. (GE), bei optimistischer Entwicklung hingegen ein fast verdoppelter Unterschied von 6,288 Mio. (GE).

Auf ein weiteres interessantes Ergebnis wollen wir noch hinweisen, das vor allem dann in den Vordergrund rückt, wenn zur Beurteilung der Flexibilität einer Verteilung nicht nur die Gesamtkosten, sondern auch der Investitionsbedarf herangezogen wird. In diesem Falle wird das Ergebnis zugunsten der Alternative 25 durch einen extrem hohen Investitionsbedarf von über 97,604 Mio. (GE) bei optimistischer Nachfrageentwicklung relativiert. Setzen wir das Kostenergebnis der Alternative 25 als Maßstab an, so bringt die Alternative 18 ein bemerkenswert gutes Ergebnis. So erhöhen sich die Kosten gegenüber der Alternative 25 bei pessimistischer Nachfrageentwicklung um 0,370 Mio. (GE), bei mittlerer Entwicklung um 0,726 Mio. (GE) und bei optimistischer Nachfrageentwicklung um 0,759 Mio. (GE). Andererseits kann jedoch mit Alternative 18 der Investitionsbedarf bei optimistischer Nachfrageentwicklung um 31,246 Mio. (GE) verringert werden. Ähnliche Überlegungen lassen sich auch für Alternative 10 anstellen, die bei optimistischer Entwicklung einen gegenüber Alternative 25 um 66,308 Mio. (GE) verminderten Investitionsmitelesatz erfordert. Die Kostenunterschiede betragen hier im optimistischen Fall 2,669 Mio. (GE), im mittleren 1,774 Mio. (GE) und im pessimistischen Fall 1,266 Mio. (GE).

Mit den Alternativen 10, 18 und 25 können somit dem Entscheidungsträger flexible Lösungen für drei verschiedene Investitionsstufen vorgeschlagen werden. Sofern ein ausgeglichener Personalbedarf an beiden Standorten gefordert wird, können wir unsere Überlegungen analog auf die Alternativen 14, 24 und 29 übertragen. Die Gewichte der Kriterien ergeben sich aus den Präferenzen des Entscheidungsträgers und bleiben ihm vorbehalten.

6. Der Einfluß der Zinskosten und der wirtschaftlichen Nutzungsdauer von Investitionen auf das Kostenergebnis

Wie uns die Ergebnisse im vorhergehenden Abschnitt gezeigt haben, ist trotz hoher Investitionen und einem entsprechenden Fixkostenanteil die Alternative 25 bezüglich des Kostenkriteriums robust. Dieser Sachverhalt gab uns Anlaß, die Frage nach der Bewertung von Investitionen in unserem Modell zu stellen.

Als erste Einflußgröße wurde der Kalkulationszinsfuß schrittweise erhöht. Die Kostenentwicklung in Abb. 63.7 zeigt deutlich die Empfindlichkeit der investitionsintensiven Alternativen 15 und 25. Hingegen erweist sich Alternative 10 als relativ unempfindlich. Ab einem Zinsfuß von 12,6 % bringt Alternative 15 das beste Kostenergebnis und Alternative 25 rückt an die zweite Stelle. Ab einem Zinsfuß von 16 % bringt auch die Alternative 10 ein besseres Ergebnis als Alternative 25 und tritt an die zweite Stelle. Ab einem Zinsfuß von 17,5 % dominiert dann Alternative 10 auch gegenüber Alternative 15.

Da wir die Anschaffungskosten für neue Kapazitäten periodisieren, hat die wirtschaftliche Nutzungsdauer, die wir für die neuen Kapazitäten zugrunde legen, einen Einfluß auf das Kostenergebnis. Nun ist aber gerade die wirtschaftliche Nutzungsdauer von Produktionsanlagen, die für mehrere Serien hinweg genutzt werden sollen, sehr schwer vorhersehbar. Neben dem Verschleiß ist vor allem der technische Fortschritt ein Ein-

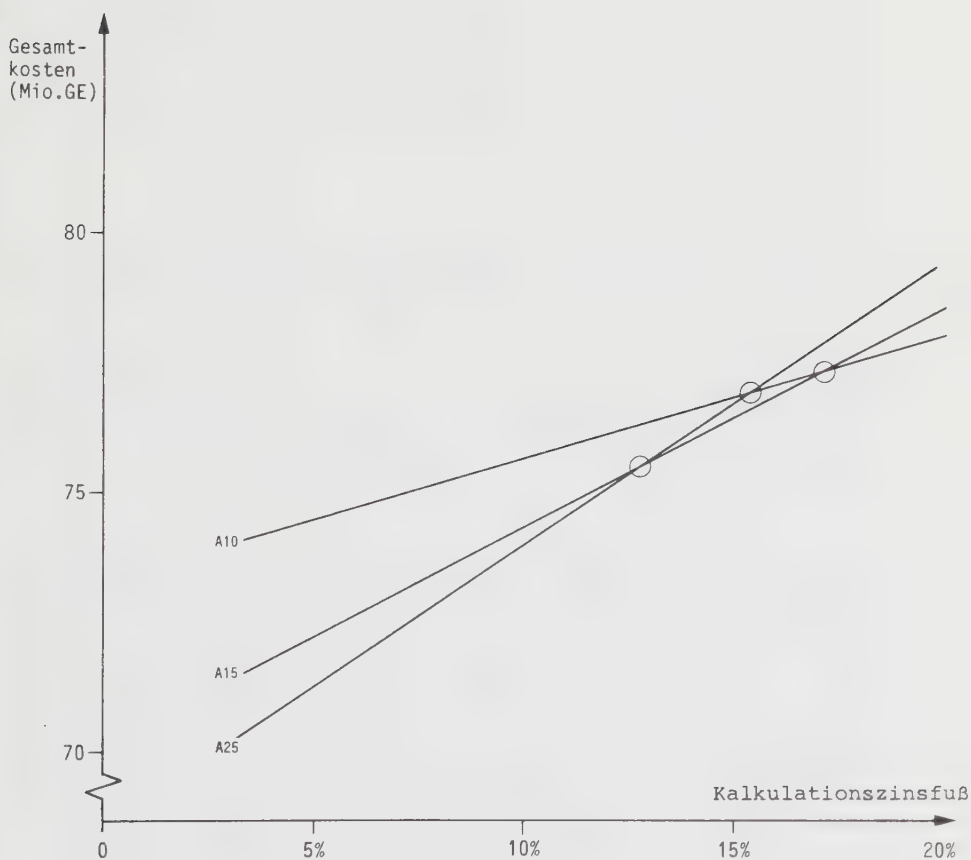


Abb. 63.7

Empfindlichkeit gegenüber Zinsänderungen

flußfaktor, der einerseits kaum abgeschätzt werden kann, andererseits aus absatzpolitischen und qualitativen Überlegungen heraus erhebliche Investitionszwänge auslösen kann, wie die Vergangenheit gerade in der Automobilindustrie gezeigt hat. Wir müssen uns deshalb die Frage stellen, ob aus diesen Überlegungen heraus die wirtschaftliche Nutzungsdauer von langfristig nutzbaren Produktionsanlagen u.U. nicht wesentlich kürzer eingeschätzt werden muß als die Nutzungsdauer, die sich nach dem Verschleiß und damit nach der Lebensdauer der Anlage orientiert.

Um diesem Unsicherheitsfaktor Rechnung zu tragen, wollen wir in unserer Fallstudie den Einfluß einer verkürzten Nutzungsdauer bei langfristig genutzten Produktionskapazitäten untersuchen. Zu diesem Zweck reduzieren wir die wirtschaftliche Nutzungsdauer für die Rationalisierungsinvestitionen in den Alternativen 15 bis 29 von 14 auf 10 Jahre. Ebenso gehen wir bei Pressenstraßen von einer Verkürzung der Nutzungsdauer von 20 auf 12 Jahre aus. Wir orientieren uns damit an Durchschnittswerten, die unternehmensinternen Richtwerten für eine sehr vorsichtige Schätzung der wirtschaftlichen Nutzungsdauer von Produktionsanlagen entsprechen. Die entsprechend angepaßten Kostenergebnisse sind in Tab. 63.8 angegeben.

Wir finden sie in der Spalte für Bewertungsmethode II. Die Bewertungsmethode I entspricht der Bewertung von Investitionen mit den ursprünglich angenommenen Werten für die wirtschaftliche Nutzungsdauer. Die Ergebnisse in Tab. 63.8 zeigen ein deutlich verändertes Bild. Die ursprünglich favorisierte Alternative 25 wird vom ersten auf den vierten Rang verdrängt, wobei sich die Gesamtkosten gegenüber der Bewertungsmethode I um 1,786 Mio. (GE) erhöhen. Bemerkenswert ist dabei auch, daß die Ergebnisse der vier besten Alternativen relativ eng zusammenliegen und dabei Alternativen aus drei verschiedenen Investitionsstufen vertreten sind.

Bewertungs-

methode	I	II	III	IV
Rang				
1	A 25 (73,869)	A 15 (75,358)	A 10 (77,106)	A 10 (77,106)
2	A 26 (74,299)	A 18 (75,595)	A 15 (77,551)	A 15 (78,550)
3	A 15 (74,358)	A 10 (75,645)	A 18 (77,799)	A 18 (78,799)
4	A 18 (74,595)	A 25 (75,655)	A 25 (78,439)	A 14 (80,140)
5	A 10 (75,643)	A 26 (76,085)	A 26 (78,881)	A 25 (80,224)
6	A 29 (76,173)	A 24 (77,832)	A 24 (80,139)	A 26 (80,667)
7	A 24 (76,832)	A 29 (77,958)	A 14 (80,140)	A 24 (81,139)
8	A 14 (78,577)	A 14 (78,577)	A 29 (80,815)	A 29 (82,601)
9	A 02 (83,260)	A 02 (83,260)	A 02 (83,373)	A 02 (83,573)
10	A 07 (83,987)	A 07 (83,987)	A 07 (84,307)	A 07 (84,307)

Tabelle 63.8: Rangfolge der Alternativen bei unterschiedlicher Bewertung von Investitionen (Gesamtkosten in Mio. GE)

Ein weiterer Einflußfaktor bei der Bewertung von Investitionen ist die Verzinsung des eingesetzten Kapitals. Dabei ist die Frage umstritten, ob das gesamte Kapital verzinst werden soll oder ob von dem durchschnittlich gebundenen Kapital, so wie in unserem Falle, in Höhe der halben Anschaffungswerte auszugehen ist. Jacob (1976) macht die Entscheidung des Problems von der speziellen Fragestellung abhängig. Er befürwortet beispielsweise eine Verzinsung des gesamten Anschaffungswertes, wenn das Kapital in voller Höhe sofort greifbar sein muß. Berücksichtigen wir diesen Ansatz, so erhalten wir die in Spalte III von Tab. 63.8 dargestellten Ergebnisse, die ein ähnliches Bild zeigen, wie die Ergebnisse, die sich zuvor schon aus der Verkürzung der Nutzungsdauer ergaben. Alternativen mit hohem Investitionsbedarf geraten dabei noch mehr ins Hintertreffen. Und schließlich zeigt die Spalte IV in Tab. 63.8 die Kostenergebnisse bei Kombination der beiden zuletzt

genannten Bewertungsansätze. Es zeigt sich, daß bei dieser Vorgehensweise sich mehr und mehr die Alternative 10 in den Vordergrund drängt. Es zeigt sich jedoch auch, daß dabei die Alternativen 15 und 18 noch relativ gute Ergebnisse erbringen.

Zu einem ähnlichen Ergebnis kommen wir, wenn wir die Bewertungsmethode IV zur Beurteilung der Flexibilität der Alternativen zugrunde legen. Anstelle der vermeintlich robusten Alternative 25 tritt nun, wie Tab. 63.9 zeigt, für allen Nachfrageentwicklungen Alternative 10. Bemerkenswert ist auch hier, daß die Alternativen 15 und 18 nach wie vor ein vergleichsweise gutes Ergebnis bringen.

Prod. Menge IN/NSU	optimistisch 485/445	normal 330/445	pessimistisch 175/445
Rang			
1	A 10 (91,151)	A 10 (77,106)	A 10 (64,891)
2	A 18 (91,994)	A 15 (78,550)	A 15 (66,569)
3	A 25 (93,583)	A 18 (78,799)	A 18 (66,737)
4	A 26 (93,653)	A 14 (80,140)	A 14 (67,279)
5	A 24 (97,460)	A 25 (80,224)	A 25 (68,517)
6	A 15 (94,671)	A 26 (80,667)	A 24 (68,806)
7	A 14 (94,813)	A 24 (81,139)	A 26 (68,863)
8	A 29 (95,949)	A 29 (82,601)	A 29 (70,433)
9	A 07 (98,386)	A 02 (83,573)	A 02 (71,451)
10	A 02 (101,112)	A 07 (84,307)	A 07 (72,082)

Tabelle 63.9: Rangfolge der Alternativen bei unterschiedlicher Entwicklung der Nachfrage und bei Bewertungsmethode IV (Gesamtkosten in Mio. GE).

Zusammenfassend können wir feststellen, daß die Bewertung von Investitionen einen ausschlaggebenden Einfluß auf die Bewertung der Verteilungsalternativen haben. Die Wahl des Bewertungsansatzes ist somit ein entscheidender Gesichtspunkt, der vor der Anwendung des Modells in jedem Falle geklärt sein sollte. Wir wollen deshalb gerade auf diesen Aspekt aufmerksam machen, um der in der Praxis häufig anzutreffenden Meinung entgegenzuwirken, daß Ergebnisse im Zweifelsfalle so gerechnet werden, wie man sie gerne haben will.

Betrachten wir die Verteilungsstrukturen, so ist zu erkennen, daß viele Grundstrukturen der Alternative 10 in den nachfolgenden Alternativen enthalten sind.

Insbesondere die Fertigung der transportkostenintensiven Schweißgruppen an beiden Produktionsstandorten erweist sich dabei als ein kostensenkendes Verteilungselement in allen nachfolgenden Alternativen.

KAP. 7 ZUSAMMENFASSUNG DER WICHTIGSTEN ERGEBNISSE

Im ersten Teil der Arbeit wurde versucht, die Problemstrukturen zu erfassen und abzugrenzen. Dabei zeigte sich, daß die Entscheidungen bei der Festlegung der Produktionsstandorte nicht nur anhand eines Kriteriums (z. B. den Gesamtkosten) getroffen werden können, sondern daß Mehrfachkriterien bei dieser Entscheidung zu berücksichtigen sind. Neben dem Kostenkriterium werden dabei der Investitionsbedarf, Personalveränderungen und die Flexibilität, vor allem gegenüber Nachfrageveränderungen, hervorgehoben.

Hinsichtlich der entscheidungsrelevanten Kostenwerte wurde auf die Probleme hingewiesen, die sich bei der Ermittlung dieser Werte aus dem im Unternehmen verfügbaren Datenmaterial ergeben. In diesem Zusammenhang zeigte sich auch, daß die Zinskosten aus der Kapitalbindung umlaufender Teile, die vom Unternehmen als ein wichtiger Kostenfaktor bei Verteilungsentscheidungen angesehen wurde, unter Vernachlässigung der entscheidungsirrelevanten Gemeinkostenzuschläge, von untergeordneter Bedeutung sind.

Der anschließende Literaturteil hat gezeigt, daß auf die speziellen Probleme einer verbundenen Produktion an räumlich getrennten Standorten im Mehrproduktbetrieb und bei mehrstufiger Fertigungsweise nur in wenigen Beiträgen eingegangen wird. In der Literatur zur Unternehmensforschung finden wir eine Vielzahl von Beiträgen, die Standortprobleme behandeln. Dabei konzentrieren sich jedoch die Ausführungen vorrangig auf die lösungstechnische Seite des Problems. Die Entwicklung gemischt-ganzzahliger Lösungsverfahren nimmt einen breiten Rahmen ein, wobei die Modelle relativ einfach gehalten sind und im wesentlichen der Demonstration der Lösungsverfahren dienen. Soweit mehrstufige Transportbeziehungen in den Modellen erfaßt werden, sind sie auf eine Betrachtung des Absatzbereiches (z. B. durch zwischengeschaltene Läger) beschränkt. Auf die speziellen Transportbeziehungen, die sich bei Standortentscheidun-

gen im Rahmen einer Verbundfertigung ergeben, wird in den Modellen nicht eingegangen. Eine Ausnahme bildet der Ansatz von Masch, der jedoch für den Mehrproduktbetrieb nur in speziellen Fällen anwendbar ist.

In Kap. 4 wurde dann versucht, die Problematik in einem gemischt-ganzzahligen Modell für den 2-Standorte-Fall abzubilden. Der Modellansatz beinhaltet eine simultane Entscheidung über die Produktionsmengenverteilung und die Kapazitätsausstattung beider Standorte sowie über die Verteilung der Transportmengen auf die verfügbaren Transportmittel. Das Modell wurde damit bewußt unabhängig von dem gewählten Lösungsverfahren konzipiert. Die Erweiterung des Modells auf die gleichzeitige Betrachtung mehrerer Fahrzeugtypen ist möglich. Dazu müssen lediglich in der letzten Fertigungsstufe die Produktionsmengen für beide Standorte durch entsprechende Bedingungen festgelegt werden.

Da eine exakte Lösung des Modells aufgrund der vielen ganzzahligen Entscheidungsvariablen derzeit für größere Verteilungsprobleme mit vertretbarem Rechenaufwand nicht möglich ist, wurde zur Lösung des Problems ein iteratives Dialogverfahren entwickelt. Die Flexibilität und die Benutzerfreundlichkeit des Verfahrens lassen einen positiven Einfluß auf das Modellverständnis des Anwenders erwarten. Darüber hinaus werden die besonderen Vorteile dieses Verfahrens vor allem darin gesehen, daß im Rahmen einer Mensch-Maschinen-Kommunikation die Erfahrung des Planers genutzt und ein kreativer Prozeß bei der Entwicklung von Handlungsalternativen in Gang gesetzt werden kann. Die Suche nach dem globalen mathematischen Optimum wird damit aufgegeben, stattdessen steht die Entwicklung "guter" Handlungsalternativen unter der Berücksichtigung von Mehrfachkriterien im Vordergrund.

In Kap. 5 wurde auf die Probleme der Datenbeschaffung, auf die wir im Rahmen der Fallstudie gestoßen sind, näher eingegangen. Als schwierig hat sich dabei vor allem die Abgrenzung der für

einen Fahrzeugtypen verfügbaren allgemeinen Kapazitäten erweisen. Gleiches gilt für die Ermittlung von Anschaffungswerten für neue Kapazitäten und deren Nutzungsdauer. Mit diesem Kapitel sollte auch ein Überblick über den notwendigen Aufwand der Datenbeschaffung gegeben werden. Eine Eingrenzung des Aufwandes ist dabei schwierig und muß mehr oder minder intuitiv vorgenommen werden, wobei die konkrete Problemstellung und die dabei angestrebte Modellgenauigkeit eine entscheidende Rolle spielen.

Im Ergebnisteil wurde zunächst der Gang der Alternativenentwicklung dargestellt. Danach wurden einige ausgewählte Alternativen hinsichtlich der vorgegebenen Entscheidungskriterien näher untersucht. Anhand von Tradeoff-Funktionen konnten dabei die Austauschrelationen zwischen den einzelnen Kriterien erläutert werden. In der anschließenden Sensitivitätsanalyse wurden die Ergebnisse im Lichte veränderter Umweltparameter untersucht. Dabei fiel die Empfindlichkeit der entwickelten Alternativen gegenüber Lohnkostenänderungen und insbesondere gegenüber einer Veränderung des Kalkulationszinsfußes besonders auf. Dies gab uns Anlaß, auf die Investitionskosten näher einzugehen. Es zeigte sich, daß die den Investitionen zugrunde gelegte wirtschaftliche Nutzungsdauer die Ergebnisse entscheidend beeinflußt.

In einem als Exkurs zu betrachtenden Abschnitt wurde daraufhin untersucht, inwieweit unterschiedliche Bewertungsmethoden für Investitionen die Ergebnisse verändern können. Diese Analyse sollte vor allem aufzeigen, wie wichtig es ist, die Modellkonzeption auch in Bewertungsfragen mit dem Entscheidungsträger abzustimmen. Dabei war dieses Beispiel nicht aus der Luft gegriffen, da sich die wirtschaftliche Nutzungsdauer, die für Zwecke der Investitionsrechnung für bestimmte Anlagengruppen im Unternehmen festgelegt ist, und die von der Planung geschätzte Nutzungsdauer bzw. die retrospektiv in der Praxis festzustellende Nutzungsdauer (s. Pressen) erhebliche Unterschiede aufweisen. Auch die Verzinsung des Anschaffungswertes

oder des Wiederbeschaffungswertes ist in der Praxis anzutreffen.

Auch auf die Wirkung einer Lockerung von Restriktionen im Transportbereich wurde eingegangen. Es konnten Maßnahmen aufgezeigt werden, mit deren Hilfe eine nochmalige Ergebnisverbesserung erreicht werden kann. Als besonders interessantes Ergebnis stellte sich dabei heraus, daß die vom Unternehmen angestrebte Anschaffung zusätzlicher Privat-Waggonen aus kostenwirtschaftlicher Sicht nicht in jedem Falle zu empfehlen ist.

Auf der Suche nach robusten Verteilungen ist vor allem die Alternative 10 zu beachten. Mit ihr konnte aufgrund beträchtlicher Transportkosteneinsparungen gegenüber den Alternativen 2 und 7 eine erhebliche Kostenverbesserung erreicht werden. Betrachten wir die Verteilungen näher, so zeigt sich, daß die wesentlichen Verteilungsstrukturen dieser Alternative auch in den vom Kostenergebnis her noch günstigeren, aber gleichzeitig mit hohen Investitionen verbundenen Alternativen 15 und 25 enthalten sind. Die Realisierung dieser Strukturelemente kann als ein robuster Schritt (Hanssmann, 1982) betrachtet werden. Für die weitere Entwicklung der Verteilung ist dann die Investitionsbereitschaft des bzw. der Entscheidungsträger maßgebend.

Hinsichtlich der Flexibilität der einzelnen Alternativen ist zu erkennen, daß die Produktionskapazitäten der Baugruppen ausreichend dimensioniert sind. Engpässe sind vor allem in der Lagerhaltung und bei der Preßteileproduktion zu erwarten. Im letzteren Falle können durch Umverteilungsmaßnahmen Investitionen umgangen werden. Dabei hat sich jedoch am Beispiel der Alternative 26 gezeigt, daß dieser in der Praxis übliche Weg nicht in jedem Falle vorzuziehen ist.

Da in unserer Fallstudie Produktionsverteilungsentscheidungen noch für eine bereits laufende Serie zu treffen waren, sind

wir von einem relativ kurzen Planungshorizont ausgegangen. Die Ergebnisse der Fallstudie sind hinsichtlich dieses Sachverhaltes kritisch zu werten, zumal in diesem speziellen Falle die Produktionsverteilung für die noch laufende Serie sicher einen Einfluß auf die Verteilung der Nachfolgeserie erwarten läßt.

Hier deuten sich offensichtlich die Schwächen einer statischen Betrachtungsweise an. Ein denkbarer Weg, auch zur Berücksichtigung des dynamischen Aspektes, wäre, das Modell auch zur Entwicklung von Verteilungsalternativen für die neue Serie einzusetzen und dabei die Anpassungskosten für eine Verknüpfung der Alternativen zu berechnen. Mit Hilfe eines Entscheidungsbaumverfahrens kann dann eine Lösung ermittelt werden, die beide Entscheidungssituationen gleichzeitig berücksichtigt.

Abschließend sei bemerkt, daß die Modellvalidierung bislang alleine durch die logische Begründung getragen werden mußte, weil über den Anlaß unserer Fallstudie, die geplante Änderung in der Standortverteilung der Endprodukte, bis zum Abschluß der Arbeit nicht entschieden war.

Kap. 8 EINGLIEDERUNG DES MODELLS IN DEN PLANUNGSPROZESS

8.1. Entscheidungsanalyse

Nachdem wir nun anhand eines konkreten Fallbeispiels aufgezeigt haben, wie unser Modell eingesetzt und welche Informationen es dabei liefern kann, wollen wir nun die Frage stellen, wie es sinnvoll in den Planungs- und Entscheidungsprozeß eingegliedert werden kann. Bevor wir jedoch diese Frage beantworten können, müssen wir diesen Prozeß erst näher kennenlernen.

8.1.1. Typische Entscheidungsanlässe

Als erstes wollen wir feststellen, welche Anlässe Verteilungsentscheidungen im Produktionsbereich bewirken können.

Ein immer wiederkehrender Anlaß ist die Einführung einer neuen Typenreihe bzw. ein Modellwechsel innerhalb einer bereits laufenden Typenreihe. Im ersten Fall sind den Verteilungsentscheidungen die meisten Freiheitsgrade gegeben, da die Einführung eines neuen Typen in der Regel immer mit hohen Investitionen für neue Produktionsanlagen verbunden ist und daher die Vorbestimmtheit der Produktionsstandorte durch bestehende Fertigungsanlagen relativ gering ist.

Der zweite Anlaß ist jedoch häufiger anzutreffen, da Modellwechsel für bestehende Typen aus absatzpolitischen Gründen planmäßig alle 5 - 7 Jahre durchgeführt werden. Darüber hinaus können auch Umweltveränderungen Anpassungsmaßnahmen erforderlich machen, die zu einer Veränderung der Produktionsverteilung führen. Werden z.B. aufgrund von Nachfrageerhöhungen Kapazitätsgrenzen erreicht, so ist zu entscheiden, an welchem

Standort zusätzliche Kapazitäten bereitgestellt werden sollen. Auch im Falle eines Nachfragerückganges können Anpassungsmaßnahmen eine bestehende Produktionsverteilung verändern, z.B. dann, wenn Produktionseinheiten an einem Standort zusammengefaßt werden. Ebenso können Veränderungen in der Kostenstruktur an beiden Standorten zu Umverteilungen führen.

8.1.2. Ist-Aufnahme des Entscheidungs- und Problemlösungsprozesses

Wir wollen nun untersuchen, welche für unser Problem relevanten Entscheidungen von welchen Entscheidungsträgern getroffen werden, nach welchen Kriterien entschieden wird und welche Informationen dabei eingeholt werden. Dabei wollen wir zunächst untersuchen, wie die Rahmenbedingungen bestimmt werden, von denen wir bei der Wahl des Produktionsstandortes bereits ausgehen.

1. Entscheidung eines Produkt-Strategie-Komitees (PSK)

Entscheidungen über die Einführung eines neuen Produktes oder über einen Modellwechsel bzw. über Modellveränderungen bei der Firma Audi werden auf Konzernebene im sogenannten PSK getroffen. Dieses Entscheidungskomitee setzt sich aus dem Vorstandsvorsitzenden des VW-Konzerns und dem der Fa. Audi sowie aus Vorständen, Bereichs- und Hauptabteilungsleitern der Geschäftsbereiche Technische Entwicklung, Produktion, Qualitätssicherung, Vertrieb, Materialwirtschaft und Finanz von VW und Audi zusammen. Das PSK legt die Produktstrategien des VW-Konzerns weltweit fest. Die Entscheidungsvorbereitung wird vom Ausschuß für Produktplanung (APP) durchgeführt. Im APP sind nahezu alle Geschäftsbereiche vertreten, die auch dem PSK angehören. Vorstandsvorsitzende und Vorstände gehören jedoch diesem Ausschuß nicht an. Der APP ist ein Informations- und Beratungskomitee (vgl. dazu Hill, Fehlbaum, Ulrich, 1974,

Bd. 2), das die Aufgabe hat, Produktideen, die aus der technischen Entwicklung oder dem Vertriebsbereich kommen, in eine aktive Produktplanung umzusetzen. Um diese Aufgabe erfüllen zu können, tritt der APP kontinuierlich zusammen. Die Planungsergebnisse des APP werden dem PSK zur Entscheidung vorgelegt.

Wenn das PSK zu dem Ergebnis kommt, daß aufgrund der Marktgegebenheiten oder der technischen Entwicklung eine Produktveränderung, ein Modellwechsel oder die Neueinführung eines Produktes geboten ist, wird vom APP ein Zielkatalog zusammengestellt, der dem PSK zur Verabschiedung vorgelegt wird. Bei der Zusammenstellung des Zielkatalogs werden Informationen aus allen relevanten Unternehmenbereichen verarbeitet. Auf Basis dieser Informationen werden für diese Unternehmensbereiche Zielvorgaben ermittelt sowie eine Erfolgsrechnung aufgestellt, die maßgebliche Entscheidungskriterien für das PSK sind. Grundlage der Erfolgsrechnung sind die Herstellungskosten auf Vollkostenbasis sowie die vom Vertrieb prognostizierten Absatzzahlen.

2. Entscheidungen des VW-Vorstandes

Nachdem feststeht, daß ein neues Produkt eingeführt oder ein laufendes Produkt verändert wird, legt der VW-Vorstand die Planzahlen der Serie bis zum Planungshorizont fest. Aus dieser Stückzahl läßt sich der Umfang der durchschnittlichen Tagesproduktion ableiten.

Die maßgeblichen Entscheidungsgrundlagen sind dabei die Absatzprognosen des Vertriebes für die Märkte im In- und Ausland. Daneben werden vor allem auch Informationen aus dem Produktions- und Finanzbereich berücksichtigt.

Auf Basis dieser Informationen wird ein langfristiger und ein mittelfristiger Absatzplan aufgestellt, der wiederum die Grundlage für die langfristige und mittelfristige Produktions-

Programm-Planung ist. Die Pläne werden wegen der ständig sich verändernden Umweltbedingungen halbjährlich überarbeitet. Der Vorstand tritt zu diesem Zweck im Rahmen sogenannter Planungsrunden regelmäßig zusammen, um über die Abänderung der Planzahlen zu entscheiden. Diese Entscheidungen können von der Firma Audi nur über ihren Vorstandsvorsitzenden beeinflusst werden, der Mitglied im VW-Vorstand ist.

Die geplanten Produktionszahlen gehen in die Zielkataloge und Lastenhefte ein und sind Ausgangsdaten für die Planung der Teileproduktion.

3. Entscheidungen des Audi-Vorstandes

Nachdem der Umfang der durchschnittlichen Tagesproduktion vorgegeben ist, entscheidet der Vorstand der Firma Audi, wie diese Produktion auf die Werke Ingolstadt und Neckarsulm verteilt wird. Im Vorstand sind folgende Geschäftsbereiche vertreten:

- Technische Entwicklung
- Finanz- und Betriebswirtschaft
- Produktion
- Qualitätssicherung
- Personal- und Sozialwesen.

Das Unternehmen ist demnach in funktionale Organisationseinheiten (Vorstand-Ressorts) gegliedert, wobei jedoch der Absatzbereich fehlt. Diese Funktion wird vom Vertrieb des VW-Konzerns wahrgenommen. Der VW-Konzern übernimmt die Produktion von Audi zu einem festgelegten Verrechnungspreis.

Die Entscheidung über die Aufteilung des Produktionsvolumens der Endprodukte auf die Werke Ingolstadt und Neckarsulm wird nach Aussagen des Vorstandes für den Geschäftsbereich "Produktion" im wesentlichen nach folgenden Kriterien getroffen:

a) Die optimale Betriebsgröße

Maßgeblich für die Entscheidung, ob das Fahrzeug nur an einem oder an beiden Standorten gefertigt wird, sind der vorgegebene Umfang der Tagesproduktion und die Kapazität des Montagebandes. Als weitere Engpaßfaktoren wirken sich bestimmte Kapazitäten aus, die von allen Typen gemeinsam genutzt werden, wie z.B. die Lackiererei. Sie bestimmen die maximale Stückzahl aller Fahrzeuge, die insgesamt an einem Tag pro Standort produziert werden können. So ist die Kapazität des Standortes Neckarsulm im Zweischichtbetrieb auf maximal 600 Fahrzeuge pro Tag beschränkt. Diese Kapazität steht jedoch nicht in vollem Umfange zur Verfügung, da an diesem Standort auch eine bestimmte Anzahl von Fahrzeugen im Auftrag einer Fremdfirma produziert wird.

b) Die Personalverfügbarkeit

Sie ist konjunkturabhängig und regional unterschiedlich.

c) Das fertigungstechnische Know-how

Die Erfahrung, die bei der Produktion eines bestimmten Teiles gesammelt wurde, beeinflußt in der Regel seine Qualität. Man orientiert sich deshalb gerne bei der Wahl des Produktionsstandortes für ein Teil nach dem Standort, den das Teil beim Vorgängermodell hatte.

d) Ausnutzung der an einem Standort vorhandenen Produktionsfaktoren

Hierbei wird versucht, das vorhandene Potential an Arbeitskräften und Maschinen auszulasten, zumal der kurzfristige Abbau von Personal aus betriebspolitischen Gründen und gegen den zu erwartenden Widerstand des Betriebsrates und der Gewerkschaften schwierig ist.

e) Die Flexibilität zum Markt

Bei einem Modellwechsel oder der Neueinführung eines Fahrzeugtypen soll der Marktbedarf möglichst schnell befriedigt werden. Dementsprechend wird versucht, die Voraussetzungen

zu schaffen, daß die notwendigen Stückzahlen in möglichst kurzer Zeit erreicht werden können. Diesem Ziel entspricht eine Verteilung der Produktion auf beide Audi-Werke am besten, da insbesondere bei neuen Modellen in der Produktion mit Anlaufproblemen zu rechnen ist.

f) Wirtschaftlichkeit

Zur Beurteilung der Vorteilhaftigkeit einer Standortwahl werden die Herstellungskosten auf Vollkostenbasis für beide Standorte vorkalkuliert und verglichen. Ebenso werden für den Fall Transportkosten errechnet, wenn geplant wird, ein Teil nur an einem Standort zu produzieren.

Sind für die Fertigung eines Fahrzeugtypen Investitionen erforderlich, so stehen die beiden Werke im Wettbewerb um die verfügbaren Mittel. Dieser Wettbewerb ist gewollt und soll für das Gesamtunternehmen von Nutzen sein. Als Entscheidungskriterien dienen dabei Investitionsrechnungen, die von der Wertanalyse in Ingolstadt aufgestellt werden.

Die vom Vorstand beschlossenen Investitionen müssen vom Aufsichtsrat genehmigt werden. Dabei ist anzumerken, daß im Aufsichtsrat bei Audi der VW-Konzern mit fünf Vorständen vertreten ist. Der Aufsichtsrat entscheidet auf der Grundlage der vorgelegten Ergebnisse der Investitionsrechnungen. Im Falle der Ablehnung muß der Vorstand weitere Alternativen entwickeln.

Die für die Wahl des Produktionsstandortes maßgeblichen Entscheidungskriterien werden vom Vorstand in Abhängigkeit von Umwelteinflüssen unterschiedlich gewichtet. So kann heute aufgrund politischer Einflüsse das Kriterium Personalauslastung im Vordergrund stehen und morgen aufgrund der Marktentwicklung eine Verbesserung der Qualität das wichtigste Ziel sein. Es wird jedoch betont, daß die Standortentscheidungen grundsätzlich gewinnorientiert sind.

4. Entscheidungen des Vorstandes für den Geschäftsbereich Produktion

Nachdem nun die Produktion der Endprodukte für die beiden Werke geplant ist, kommen wir zum Kernpunkt unserer Untersuchung, der Verteilung der Teilefertigung auf die beiden Produktionsstandorte.

Diese Verteilung wird im Vorstandsressort Produktion geplant und im allgemeinen auch dort entschieden. Eine Ausnahme bilden Investitionen, die im Zusammenhang mit der Produktionsverteilung durchgeführt werden sollen und die den Rahmen des dem Vorstandsbereich zur Verfügung stehenden Budgets sprengen. Über solche Investitionen entscheidet der Gesamtvorstand in Absprache mit dem Aufsichtsrat.

Solange sich die Planung im Rahmen der aufgestellten Budgets vollzieht, werden die Verteilungsentscheidungen fast ausschließlich im Bereich Produktionsplanung getroffen, wobei die Planung auch auf die Belange der Fertigung Rücksicht nehmen muß. Sofern die Werksleitung, die ebenso wie der Bereich Produktionsplanung dem Vorstand direkt unterstellt ist, mit den Ergebnissen der Planung nicht einverstanden ist, entscheidet der Vorstand Produktion. In gleicher Weise bringt er auch widerstreitende Interessen zwischen den beiden Werken zum Ausgleich. In seiner Kontrollfunktion wird der Vorstand Produktion durch das ihm unmittelbar unterstellte Controlling unterstützt. Am Standort Neckarsulm ist die Produktionsplanung dem Werksleiter unterstellt und dieser wiederum dem Vorstand Produktion. Der Schwerpunkt der Entscheidungen liegt deshalb bei der Produktionsplanung in Ingolstadt.

5. Entscheidungen der Produktionsplanung

Die Planungsbereiche sind hierarchisch aufgebaut und in funktionale Hauptabteilungen und Abteilungen untergliedert. Im

nächsten Schritt der Entscheidungskette werden nun die Produktionsstandorte der größeren Baugruppen festgelegt. Diese Entscheidungen werden in den Planungsabteilungen beider Werke vorbereitet und im Rahmen der gesetzten Budgets von den Hauptabteilungs- und Bereichsleitern entschieden. Dabei werden folgende Kriterien berücksichtigt:

a) Orientierung nach dem Vorgängermodell

Bei einem Modellwechsel werden die Teile vielfach ähnlich wie beim Vorgängermodell verteilt, um auf diese Weise die in der Fertigung gewonnenen Erfahrungen auch beim neuen Modell nutzen zu können.

b) Funktionale Zusammengehörigkeit

Bei Neuentwicklungen und komplexen Baugruppen versucht man die technische Entwicklung, die Planung und die Fertigung an einem Standort zu konzentrieren, um notwendige Abstimmungen schnell durchführen zu können.

c) Transportkosten und Transportfähigkeit

Vor allem größere Baugruppen bereiten Schwierigkeiten beim Transport im Zwischenwerksverkehr. Soweit es sich um Sichtteile der Karrosserie handelt, müssen sie besonders gegen Transportschäden geschützt werden. Die Teile müssen deshalb in aufwendige Spezialbehälter verpackt werden, die in der Regel nur wenige Teile fassen und deshalb zu relativ hohen Transportkosten führen. Um dieses Problem zu umgehen, werden solche Teile gerne an beiden Standorten produziert.

d) Kapazitätsauslastung und Beschäftigung

Ein wesentliches Kriterium für die Wahl der Produktionsstandorte von Baugruppen ist eine möglichst gleichmäßige Auslastung der vorhandenen Maschinenkapazitäten und des verfügbaren Fertigungspersonals. Die Verlagerung von Arbeitsplätzen im Zuge einer Verteilungsentscheidung versucht man möglichst zu vermeiden.

e) Wirtschaftlichkeit

Wirtschaftlichkeitsrechnungen werden wiederum hauptsächlich dann aufgestellt, wenn Investitionen erforderlich sind. In diesem Falle veranlaßt das Controlling eine Wirtschaftlichkeitsrechnung, die dann in Zusammenarbeit mit der Wertanalyse und den betroffenen Planungsabteilungen aufgestellt wird. Die Rechnung beinhaltet eine Gegenüberstellung der Investitionskosten und der dadurch möglichen Kostenersparnisse über mehrere Perioden. Als Restriktionen werden vor allem das Budget und die Raumverfügbarkeit beachtet. Aufgrund des Raum Mangels im Werk Ingolstadt ist eine weitgehende Verteilung der Baugruppen auf beide Werke unumgänglich.

Nachdem nun die Baugruppenverteilung festgelegt ist, erfolgt in einem nächsten Schritt die Verteilung der Einzelteile und das sind im wesentlichen Preßteile. Diese Aufgabe obliegt ebenfalls den Fertigungsplanungen beider Standorte und wird auch von diesen relativ unabhängig entschieden, solange die Budgetrestriktionen eingehalten werden. Bei der Wahl des Produktionsstandortes orientiert man sich hier generell nach den von den Rohbauplanungen festgelegten Schweißgruppen, d. h. nach dem Ort der Weiterverarbeitung. Dabei werden die Kapazitätsverfügbarkeit und verfahrenstechnische Restriktionen beachtet und eine möglichst gleichmäßige Auslastung beider Preßwerke angestrebt. Bislang werden Preßteile immer nur an einem Standort hergestellt, um die teure Anschaffung eines zweiten Werkzeugsatzes zu vermeiden.

Die Entscheidung über die Anschaffung neuer Kapazitäten in den Preßwerken fällt immer in den Vorstandsbereich, da die Pressenstraßen mit zu den teuersten Anlagen in der Produktion zählen.

Zusammenfassend können wir feststellen, daß der Planungs- und Entscheidungsprozeß bei der Festlegung der Produktionsstandorte hierarchisch gegliedert ist und sequentiell top down (Noltemeier 1976) abläuft. Die strategischen Produktentscheidungen

und die Planung der Absatzmengen vollziehen sich auf Konzern-ebene. Erst die Verteilung der Endprodukte fällt in den alleinigen Entscheidungsbereich der betrachteten Unternehmung.

Die Standortplanung für die Teileproduktion wird im wesentlichen im Vorstandsbereich Produktion geplant und entschieden. Solange die vorgegebenen Budgets eingehalten werden, wird der Entscheidungsprozeß im wesentlichen vom Middlemanagement der Produktionsplanung getragen. Für den Fall, daß darüber hinaus Investitionsentscheidungen zu treffen sind, werden die Entscheidungen in die Vorstandsebene verlagert. Je nach Höhe der Investition wird die Entscheidung vom Vorstand Produktion oder vom Gesamtvorstand getroffen. Im Unterschied zu den relativ autarken Entscheidungen im Planungsbereich partizipieren in diesem Falle alle Unternehmensbereiche am Entscheidungsprozeß. Die Entscheidungsvorbereitung obliegt auch in diesem Falle der Produktionsplanung.

Im übrigen halten wir fest, daß auf die Wahl des Produktionsstandortes Lösungen, die in der Vergangenheit gefunden wurden, und Auslastungsgesichtspunkte einen großen Einfluß ausüben.

8.2. Integration des Entscheidungsmodells

8.2.1. Voraussetzungen für eine erfolgreiche Implementierung

Die Effizienz eines Informationssystems hängt entscheidend davon ab, wie gut es gelingt, die Konzeption des Systems beim Benutzer durchzusetzen (Grochla 1975). Mit anderen Worten, der Benutzer muß mit der dem Modell zugrunde liegenden Konzeption vertraut werden und er muß die Voraussetzungen akzeptieren, von denen das Modell ausgeht. In der Praxis zeigt sich, daß nicht grundsätzlich davon ausgegangen werden kann, daß die der Modellkonzeption zugrunde liegende Methodik akzeptiert wird. So hat sich im Verlaufe der Studie gezeigt, daß vor allem das Vollkostendenken einem entscheidungsorientierten Ansatz im

Wege steht. Auch auf das Problem, das sich aus der Wahl unterschiedlicher Bewertungsmethoden ergeben kann, sind wir im Zusammenhang mit der Bewertung von Investitionen eingegangen. In jedem Falle müssen die Werte, mit denen das Modell rechnet, mit dem Entscheidungsträger besprochen und von ihm akzeptiert werden, da andernfalls die Gefahr besteht, daß die Ergebnisse keine Anerkennung finden. In unserem Falle wurde die Modellkonzeption den Entscheidungsträgern in den betroffenen Bereichen (Finanz, Controlling, Wertanalyse, Produktionsplanung, Logistik) vorgestellt und zur Diskussion gestellt. Auf diese Weise entstand ein gemeinsames Konzept, das von allen Beteiligten mitgetragen oder zumindest nicht abgelehnt wurde. Z. T. konnte dadurch auch ein Interesse an den Modellinformationen geweckt werden. Als besonders förderlich erwies sich, daß die Modellkonzeption auch Unterstützung beim Vorstand Produktion fand. Durch seine Unterstützung wurde der Zugriff auf modellrelevante Informationen in den verschiedenen Unternehmensbereichen auf unbürokratische Weise ermöglicht.

Auch nach erfolgter Modellfertigstellung müssen Vorkehrungen getroffen werden, die eine weitere Anwendung des Modells begünstigen. Dies betrifft zum einen die Datenermittlung, zum anderen aber auch die Modellpflege. Im ersten Fall haben wir bereits Pionierarbeit geleistet. Dabei konnten wir feststellen, daß die für unser Modell erforderlichen Daten zum Teil in den Datenbanken einzelner Bereiche abgelegt sind. Hier können Schnittstellen geschaffen werden, welche die Datenaufnahme erleichtern. Darüber hinaus ist auch an spezielle Datenbanken zu denken, in denen die relevanten Daten (z. B. Investitionswerte) abgelegt werden. Auch die Entwicklung von Fragebögen und standardisierten Datenerfassungsformularen ist für die Erstellung der Datenbasis dienlich.

Ein äußerst wichtiger Gesichtspunkt für die weitere Anwendung des Modells ist die Modellpflege. In einem Unternehmen, das sich Umweltveränderungen ständig anzupassen versucht, können sich die Voraussetzungen, von denen bei der Modellkonzeption

ausgegangen wurde, schnell ändern. Daraus ergibt sich, daß eine laufende Überprüfung der Modellrelationen, ihre Anpassung und Weiterentwicklung zwingend notwendig sind, will man vermeiden, daß das Modell veraltet und unbeachtet bleibt.

Eine weitere Anwendungsvoraussetzung ist die richtige Handhabung des Modells. Gerade bei Dialogmodellen besteht die Gefahr, daß aufgrund der Freiheitsgrade, die dem Anwender gegeben sind, die Handhabung sich von der ursprünglichen Konzeption entfernt. Wird das Modell beispielsweise dazu eingesetzt, vorgefaßte Entscheidungen zu verifizieren, anstatt Alternativen zu entwickeln, so geht ein erheblicher Teil des Informationspotentials verloren. Das soll jedoch nicht heißen, daß das Modell nicht dazu geeignet ist, Entscheidungen, vor allem wenn sie sich auf Modellinformationen stützen, zu kontrollieren. Soweit eine Kontrolle an realen Ergebnissen möglich ist, bietet sich die einmalige Chance, die Modellannahmen zu überprüfen und gegebenenfalls anzupassen.

8.2.2. Unterstützung der Entscheidungsträger mit entscheidungsrelevanten Modellinformationen

Wir wollen uns nun die Frage stellen, wie und von wem die mit Hilfe des Modells gewonnenen Informationen genutzt werden können. Gleichzeitig werden wir auch nach den Möglichkeiten der organisatorischen Eingliederung des Modells suchen. Beides hängt entscheidend vom Rahmen ab, der dem Modell gesetzt wird. Werden die Modellrestriktionen, insbesondere das Investitionsbudget weitgehend festgeschrieben, so wird vorrangig das Middlemanagement in der Produktionsplanung und das ihm angegliederte Controlling als Benutzer in Frage kommen. Anstelle einer sequentiellen Festlegung der Produktionsstandorte für Baugruppen und Einzelteile können mit Hilfe des Modells, unter Beachtung von Nebenbedingungen in den betroffenen Bereichen, für diese Teile simultan Verteilungsalternativen entwickelt werden. Bei einer Beschränkung des Modelleinsatzes auf den

Planungsbereich besteht jedoch die Gefahr, daß auch weiterhin, wenn auch nun mit Modellunterstützung, die Alternativen nach den beschriebenen Kriterien (Auslastung, Entscheidungen in der Vergangenheit) geplant werden. Hierbei ist in Frage gestellt, inwieweit der Aufwand, der für den Einsatz des Modells insbesondere bei der Datenbeschaffung betrieben werden muß, durch den Wert der gewonnenen Informationen gerechtfertigt ist. Andererseits kann das Modell sicher gute Arbeit leisten, wenn es in der konzeptionalen Phase (Szyperski 1974) bzw. in der Orientierungsphase (Witte 1968) des Entscheidungsprozesses bei der Suche nach effizienten Entscheidungsalternativen eingesetzt wird.

Je weiter der Rahmen für das Modell gesteckt wird und je mehr z. B. auch Investitionsentscheidungen im Modell Berücksichtigung finden, umso mehr kommt der interdisziplinäre Modellansatz zum Tragen. Wie wir in unserer Fallstudie gesehen haben, ergibt sich bei der Beschaffung neuer Produktionskapazitäten oftmals ein hoher Investitionsbedarf. Außerdem ist zu beachten, daß in diesem Falle Investitionsentscheidungen die Standortverteilung der Produktion langfristig beeinflussen können. Entscheidungen über die Entwicklung der Produktionskapazitäten, vor allem im Zusammenhang mit Standortentscheidungen, haben strategischen Charakter (Hanssmann 1982) und obliegen dem Topmanagement. An diese Adresse müssen dann auch die entsprechenden Modellinformationen gerichtet sein. Dabei sind zwei wesentliche Voraussetzungen zu erfüllen:

1. Die Modellinformationen müssen auf die wesentlichen Zusammenhänge komprimiert werden. Diese Forderung wird von Ackoff (1967) in seiner Kritik an Management-Informationssystemen damit begründet, daß dem Top-Management nicht nur relevante Informationen fehlen, sondern daß ein viel größeres Problem sich daraus ergibt, daß es mit irrelevanten Informationen überhäuft wird. Es besteht somit die Gefahr, daß eine zu detaillierte Darstellung der Modellinformationen in diesem Falle zu ihrer Nichtbeachtung bei-

trägt.

2. Die Aufbereitung der Ergebnisse soll idealerweise in einer unmittelbar dem Topmanagement unterstellten und möglichst unabhängigen Organisationseinheit erfolgen, da sonst die Gefahr besteht, daß Informationen bei ihrem Lauf durch die Unternehmenshierarchie "verwässert" werden. Eine denkbare Lösung wäre die Einsetzung eines Ausschusses, in dem die von den Entscheidungen betroffenen Unternehmensbereiche vertreten sind. Auch eine Ansiedlung des Modells im Controlling ist in Erwägung zu ziehen, da die Controller Zugang zu vielen wichtigen Daten im gesamten Unternehmensbereich haben (vgl. dazu Hanssmann 1971).

Das Modell läßt sich bei der Erfüllung dieser Informationsaufgaben vom Planungsinstrument zum Leitungsinstrument (vgl. Meier, Schneider, Stübel 1983) weiterentwickeln. Dazu kann der Aggregationsgrad der Modellrelationen erhöht werden, indem beispielsweise einzelne Teile zu größeren Baugruppen zusammengefaßt werden. Weiterhin wäre dann auch zu überprüfen, ob ein höher aggregiertes Modell auf die gleichzeitige Betrachtung mehrerer Fahrzeugtypen erweitert werden kann, womit sich viele Abgrenzungsprobleme lösen ließen.

Abschließend sei in Anlehnung an Hanssmann (1978) darauf hingewiesen, daß in jedem Falle die Entscheidung beim Entscheidungsträger verbleiben muß. Das Modell hat lediglich die Aufgabe, entscheidungsrelevante Informationen bereitzustellen, mit dem Ziel, unternehmerische Intuition mit den Modellinformationen zu kombinieren, um somit die Qualität der Entscheidungen zu verbessern.

LITERATURVERZEICHNIS

- ACKOFF, R.L.: Management Misinformation Systems ,
Management Science 14, 4 (1967).
- AUDI AG: Bericht über das Geschäftsjahr 1984 ,
Ingolstadt, 1985.
- BEHRENS, K.C.: Allgemeine Standortbestimmungslehre,
Köln-Opladen, 1961.
- BLOECH, J.: Optimale Industriestandorte,
Würzburg-Wien 1970.
- BÖVENTER, E.v.: Theorie des räumlichen Gleichgewichts,
Tübingen 1962.
- BRAUER, K.M.: Binäre Optimierung, Untersuchung und
Weiterentwicklung eines Verfahrens zur Analyse
betriebswirtschaftlicher Entscheidungsprobleme
bei zweiwertigen Alternativen und ökonomisch un-
teilbaren Objekten, Köln, Berlin, Bonn, München
1969.
- DAVIS, P.S. and RAY, T.L.: A Branch-Bound Algorithm
for the Capacitated Facilities Location Problem ,
Naval Research Logistics Quarterly, 16, 3 (1969).
- DRAYER, W. and SEABURG, S.: Facilities Expansion Model ,
Interfaces 5:2 Part 2, S. 104-109 (1975).
- EFROYMSON, M.A. and RAY, T.L.: A Branch-Bound Algorithm
for Plant Location , Operations Research 14, 3
(1966).

- FELDMAN, E., LEHRER, F.A., and RAY, T.L.: Warehouse Locations Under Continuous Economics of Scale , Management Science 12, 9 (1966).
- FISCHER, W.: Die Aufteilung einer Sortenproduktion auf mehrere Werke mit festem Standort , Diss. München 1971.
- FOLIE, M. and TIFFIN, J.: Solution of a Multi-Product Manufacturing and Distribution Problem , Management Science 23, 3 (1976).
- FRANCIS, R.L.: On the Location of Multiple New Facilities with Respect to Existing Facilities , The Journal of Industrial Engineering, 15 (1964).
- FRANCIS, R.L., WHITE, J.A.: Facility Layout and Location: An Analytical Approach , Englewood Cliffs, New Jersey, 1974.
- GAVETT, J.W. and PLYTER, N.V.: The Optimal Assignment of Facilities to Locations by Branch and Bound , Operations Research, 14, 2 (1966).
- GOULD, S.: A Method of Dealing with Certain Non-Linear Allocation Problems , Operation Research Quarterly, 3 (1959).
- GRIESE, J. und MÜHLBACHER, J.: Konstruktionsprinzipien und Problembereiche für Mensch-Maschinen-Kommunikationssysteme , in: Noltemeier, H. (Hrsg.): Computergestützte Planungssysteme, Würzburg-Wien 1976.
- GROCHLA, E., SZYPERSKI, N.: Information Systems and Organizational Structure , Berlin, New York 1975.

- GRUNDMANN, W. et al (Autorenkollektiv): Mathematische Methoden zur Standortbestimmung , Berlin 1968.
- GUPTA, S.K. and ROSENHEAD, J.: Robustness in Sequential Investment Decisions , Management Science 15,2 (1969).
- HANSSMANN, F.: Operations Research: Hilfsmittel moderner Unternehmensführung , Gabler 1971 (USW-Schriften für Führungskräfte).
- HANSSMANN, F.: Operations Research Techniques for Capital Investment , New York, London, Sidney (1974).
- HANSSMANN, F.: Einführung in die Systemforschung , München 1978.
- HANSSMANN, F.: Quantitative Betriebswirtschaftslehre , München 1982.
- HEINEN, E.: Industriebetriebslehre - Entscheidungen im Industriebetrieb . 6. verbesserte Auflage, Wiesbaden 1978.
- HEINEN, E.: Betriebswirtschaftliche Kostenlehre, Kostentheorie und Kostenentscheidungen , Wiesbaden 1983.
- HESPOS, D.B. and STRABMANN, P.A.: Stochastic Decision Trees for the Analysis of Investment Decisions , Management Science 11, 10 (1965).
- HILL, W., FEHLBAUM, R., ULRICH, P.: Organisationslehre , Bd. 2, Bern, Stuttgart 1976.

- HILLIER, F.S. and CONNORS, M.M.: Quadratic Assignment Problem Algorithms and the Location of Indivisible Facilities , Management Science 13, 1 (1966).
- HOTELLING, H.: Stability in Competition, The Economic Journal 39, S. 41-57 (1929).
- ISARD, W.: Location and Space-Economy. A General Theory Relating to Industrial Location, Market Areas, Land Use, Trade, and Urban Structure, New York and London 1956.
- JACOB, H.: Zur Standortwahl der Unternehmungen, Betriebswirtschaftliche Strukturfragen , Festschrift zum 65. Geburtstag von Reinhold Henzler, (Hrsg.) K. Alewell, Wiesbaden 1967, S. 233-293.
- JACOB, H.: Optimale Investitionspolitik . Schriften zur Unternehmensführung, Band 4, Wiesbaden 1968.
- JACOB, H.: Zur Standortwahl der Unternehmung , Wiesbaden 1976.
- KUEHN, A.A. and HAMBURGER, M.J.: A Heuristic Program for Locating Warehouses , Management Science 9, 4 (1963).
- LIEBMANN, H.-P.: Die Standortwahl als Entscheidungsproblem , Würzburg-Wien 1971.
- MANNE, A.A.: Plant Location under Economies-of-Scale: Decentralisation and Computation , Management Science 11, 2 (1964).

- MAIRS, T.G., WAKEFIELD, G.W., JOHNSON, E.L., SPIELBERG, K.: A Production Allocation and Distribution Problem , Management Science 24, 15 (1978).
- MASCH, W.: Zu den mathematischen Methoden der optimalen Standortverteilung der Betriebe im mehrstufigen System der Produktion und des Bedarfs (russ.), in: Fragen der Ökonomie, 10 (1962).
- MERTENS, P. und GRIESE, J.: Industrielle Datenverarbeitung, Band 2: Informations- und Planungssysteme , Wiesbaden 1972.
- MERTENS, P. u.a.: Das computerunterstützte Entscheidungstraining , in: Zeitschrift für Betriebswirtschaft 45, 1975, S. 793-820.
- MEYER, E., SCHNEIDER, H.-J., STÜBEL, G.: Computergestützte Unternehmensplanung. Eine Planungsmethodologie mit Planungsinstrumentarium für das Management , Berlin-New York 1983.
- MOSES, L.N.: Location and the Theory of Production, Quarterly Journal of Economics, 72, 1958, S. 259-272.
- NOLTEMEIER, H.: Computergestützte Planungssysteme , Würzburg-Wien 1976.
- PREDÖHL, A.: Das Standortproblem in der Wirtschaftstheorie, Weltwirtschaftliches Archiv, 21, 1925, S. 294-321.

- RIEBL, P.: Überlegungen zur Formulierung eines entscheidungsorientierten Kostenbegriffs , in: Müller-Mehrbach, H. (Hrsg.), Quantitative Ansätze in der Betriebswirtschaftslehre, München 1978.
- SA, G.: Branch-and-Bound and Approximate Solution to the Capacitated Plant Location Problem , Operations Research 17, 6 (1969).
- SASIENI, M., YASBAN, A. und FRIEDMAN, L.: Methoden und Probleme der Unternehmensforschung, in deutscher Sprache, (Hrsg.) H.P. Künzi, Würzburg 1967.
- SCHEER, A.-W.: Anforderungen und Anregungen für den Einsatz von OR-Modellen im Produktionsbereich aus der Sicht neuer Entwicklungen der Datenverarbeitung , in: Proceedings in Operations Research, 9, Würzburg-Wien 1980.
- SPIELBERG, K.: Plant Location with Generalized Search Origin", Management Science 16, 3 (1969).
- SZYPERSKI, N. und WINAND, U.: Entscheidungstheorie , Stuttgart 1974.
- VOLLMANN, T.E., NUGENT, C.E., ZARTLER, R.L.: A Computerized Model for Office Layout , The Journal of Industrial Engineering, 19, 7 (1968).
- WEBER, A.: Über den Standort der Industrien. 1. Teil: Reine Theorie des Standorts, Tübingen 1909.
- WHITE, C.H.: Production Allocation with set-up Penalties and Concave Material Costs, Operations Research 17, 6 (1969).

WÖHE, G.: Einführung in die allgemeine Betriebswirtschaftslehre , 15. Aufl., München 1984.

WÖHE, G.: Betriebswirtschaftliche Steuerlehre , Band I, 5. Aufl., München 1978.

WITTE, E.: Phasentheorem und Organisation komplexer Entscheidungsverläufe , in: Zeitschrift für betriebswirtschaftliche Forschung 20, 1968, S. 625-647.

ZIRNDINA, S.R.: Die Anwendung mehrstufiger Modelle zur Planung der Standortverteilung der Produktion , in: Optimale Planung der Standortverteilung der Produktion, Sammelband, Nowosibirsk, 1965.

LEBENS LAUF

Anschrift: Friedrich Eichiner, Prinzenstraße 50,
8000 München 19, Tel.: 089/17 69 58

Personaldaten: Geb. 09.04.1955
in Marienstein/Krs. Eichstätt
Familienstand: verheiratet
Staatsangehörigkeit: Deutsch

Bildungsgang: Von September 1961 bis Juli 1966
Knabenvolksschule in Eichstätt
Von September 1966 bis Juni 1975
mathematisch-naturwissenschaftlicher
Zweig des Willibald-Gymnasiums in
Eichstätt
Abschluß: Abitur
Von Juli 1975 bis September 1976
Grundwehrdienst in der
Pionierkaserne Ingolstadt
Von Oktober 1976 bis August 1978
Betriebswirtschaftslehre an der
Universität Regensburg
Abschluß: Vordiplom
Von Oktober 1978 bis Dezember 1981
Betriebswirtschaftslehre an der
Ludwig-Maximilians-Universität München
Abschluß: Diplom
von Juni 1982 bis Juli 1986
freiberuflicher Mitarbeiter bei
der Firma AUDI AG in Ingolstadt
und Doktorarbeit an der Ludwig-
Maximilians-Universität München.

